



**ТРУДЫ**  
V МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
**«МОРСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
И ОБРАЗОВАНИЕ:  
MARESEDU-2016»**  
**18-21 ОКТЯБРЯ 2016 г.**

УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

Т78

Труды V Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2016)” : [сборник]. - М. : Феория, 2016. - 549 с. : ил., карты, схемы. - ISBN 978-5-91796-060-9

Сборник «Труды V Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2016)”» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции. Сборник состоит из глав, соответствующих секциям технической программы конференции: общая (пленарная), океанология, геофизические исследования на акваториях, морская геология, морская биология, рациональное природопользование, гидрология, англоязычная секция Offshore Training-through-Research. Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, актуальные проблемы природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, освоение ресурсов континентального шельфа, достижения науки и современные методы исследований акваторий, концепции и подходы в обучении морским наукам, традиционно широко были представлены самые свежие результаты научно-исследовательских морских экспедиций.

Отличительная черта конференции и сборника - комплексность обсуждаемых исследований и значительное количество докладов, авторами которых были студенты различных вузов страны, принявшие активное участие в работе форума.

**Подготовлено к выпуску издательством ООО «Феория» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».**

ООО «Феория».  
127018, Москва, Савёловский проезд, д. 8 строение 2  
dikmaps@yandex.ru

ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».  
Свидетельство о внесении записи в ЕГРЮЛ 77 № 017538482  
от 19 июня 2014г.  
119234, Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ, владение 1, стр. 77  
(495) 930-85-52/ 930-80-58

## ОРГАНИЗАТОРЫ



Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова;  
Учебно-Научный Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике;  
Институт Океанологии РАН им. П.П. Ширшова.

## ПРИ УЧАСТИИ



Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова;  
Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова;  
Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова.

## КООРДИНАТОР



Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова;  
г. Москва, Ленинские горы, владение 1, строение 77, офис 104  
e info@marine-rc.ru t +7(495)930-85-52  
w marine-rc.ru f +7(495)930-80-58

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ



НЕДРА



Offshore<sup>[Russia]</sup>



## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

ЛОБКОВСКИЙ ЛЕОПОЛЬД ИСАЕВИЧ  
(председатель организационного комитета)

Член-корреспондент РАН, Заместитель директора по Геологическому направлению Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, д.ф.-м.н.

ДОБРОЛЮБОВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ  
(сопредседатель организационного комитета)

Член-корреспондент РАН, декан Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.н., профессор

КИРПИЧНИКОВ МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ  
(сопредседатель организационного комитета)

Академик РАН, декан Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.б.н., профессор

ПУЩАРОВСКИЙ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ  
(сопредседатель организационного комитета)

Академик РАН, декан Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., профессор

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

АХМАНОВ ГРИГОРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ  
(председатель программного комитета)

Доцент, руководитель кафедры ЮНЕСКО по морской геологии и геофизике, директор Учебно-научного Центра ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете, к.г.-м.н.

ДЕМИДОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ  
(сопредседатель программного комитета)

Доцент, с.н.с. кафедры океанологии Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к.г.н.

СУБЕТТО ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ  
(сопредседатель программного комитета)

Директор Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, д.г.н.

ТОКАРЕВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ  
(сопредседатель программного комитета)

Заместитель декана Геологического факультета МГУ, Директор Центра анализа сейсмических данных МГУ.

ЦЕТЛИН АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ  
(сопредседатель программного комитета)

Директор Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова, профессор биологического факультета МГУ, д.б.н.

## ЧЛЕНЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

ЗАВЬЯЛОВ ПЕТР ОЛЕГОВИЧ

Заместитель директора по направлению Физика океана Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, д.г.н., профессор РАН

КОРОСТ ДМИТРИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

Директор Центра морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., научный сотрудник Геологического факультета МГУ

КРЫЛОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

Доцент Института Наук о Земле, СПбГУ, к.г.-м.н.

МАГРИЦКИЙ ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

Доцент кафедры гидрологии суши Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к.г.н.

МОКИЕВСКИЙ ВАДИМ ОЛЕГОВИЧ

Заведующий лабораторией экологии прибрежных донных сообществ Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, д.б.н.

РЫБАЛКО АЛЕКСАНДР ЕВМЕНЬЕВИЧ

Профессор кафедры геоморфологии СПбГУ, д.г.-м.н., в.н.с. ФГБУ "ВНИИОкеангеология", главный научный сотрудник ЦАСД МГУ

СЫЧЕВ ВИТАЛИЙ ИВАНОВИЧ

Профессор кафедры океанологии РГГМУ, к.ф.-м.н., эксперт МОК ЮНЕСКО и МНОК РФ

ШАБАЛИН НИКОЛАЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

Исполнительный директор Центра морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова, научный сотрудник Биологического факультета МГУ



# 19 октября

## Пленарная сессия

10:00 –17:00	<b>Регистрация</b>	
11.15-11.25	<b>Открытие конференции.</b>	
11.25-11.50	Новые направления развития тектоники литосферных плит и региональной геодинамики	Лобковский Л.И. (Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН)
11.50-12.15	Полярные океаны и изменения климата	Добролюбов С.А. (Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова)
12.15-12.40	История развития Ладожского и Онежского озер и их современное состояние	Субетто Д.А. (Института водных проблем Севера КарНЦ РАН)
12.40-13.05	Начало океанографии. Почему "Челленджер".	Пантюлин А.Н. (Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова)
13.05-13.20	<b>Кофе-брейк</b>	
13.20-13.45	Актуальные задачи изучения минерально-сырьевой базы шельфов РФ	Петров Е.И. (Минприроды России)
13.45-14.10	Морские многокомпонентные сейсморазведочные работы для решения инженерно-геологических и нефтегазопроисловых задач.	<u>Коротков И.П.</u> , Хортов А.В., Долгов В.В., Кузнецов В.М. ( <sup>1</sup> ООО «ГлобалГеофизикалСервисес-Хазар», <sup>2</sup> ООО «Геофизические Системы Данных»)
14.10-14.35	Подводный грязевой вулканизм и гидратоносность озера Байкал	Хлыстов О.М. (Лимнологический институт СО РАН)
14.35-15.00	Морская геофизика на геологическом факультете МГУ: наука, люди, экспедиции	Гайнанов В.Г. (Геологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова)
15.00-16.00	<b>Обеденный перерыв</b>	
16.00-16.25	«Балтийский плавучий университет» (БПУ) и его предыстория в ЛГМИ/РГГМУ в 60е-80е годы XX в.	Сычев В.И. (РГГМУ, МОК ЮНЕСКО)
16.25-16.50	Научные результаты экспедиционных исследований НИС "Картеш" 2015-16 гг.	<u>Шабалин Н.В.</u> <sup>1</sup> , Чава В.А. <sup>1</sup> , Мардашова М.В. <sup>1</sup> , Гебрук А.А. <sup>1</sup> , Амелин Я.А. <sup>2</sup> , Бедаш С.Н. <sup>2</sup> , Дгебуадзе П.Ю. <sup>1</sup> , Мельникова В.А. <sup>1</sup> , Козловский В.В. <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> ЦМИ МГУ, <sup>2</sup> Полярная экспедиция «Картеш»)
16.50-17.15	Разработка технологии картографирования подводных ландшафтов	<u>Исаченко А.И.</u> <sup>2</sup> , Терёхина Я.Е. <sup>1</sup> , Барымова А. А. <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, <sup>2</sup> ООО«Арктический Научный Центр», <sup>3</sup> ООО«Центр морских исследований МГУ им.М.В. Ломоносова»)
17.15-17.30	<b>Кофе-брейк</b>	
17.30-17.55	Новые методы и подходы к анализу данных в гидробиологии	Азовский А.И. (Биологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова)
17.55-18.20	Многолетняя (1934-2010) динамика ареалов макрозообентоса Керченского пролива	<u>Фашук Д.Я.</u> <sup>1</sup> , <u>Кучерук Н.В.</u> <sup>2</sup> , Терентьев А.С. <sup>3</sup> , Литвиненко Н.В. <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> Институт географии РАН, <sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, <sup>3</sup> Южный НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии)
18.20-18.45	Osedax (Siboglinidae; Annelida): бескишечные черви, скелеты позвоночных и половой диморфизм	Римская-Корсакова Н.Н. (Биологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова)
19.00-21.00	<b>Фуршет</b>	

# 20 октября

## Секция "Океанология"

09:00–12:00	<b>Регистрация</b>	
10.00-10.20	Органические соединения во взвеси поверхностных вод по маршруту НИС «Академик Николай Страхов»	<u>Титова А.М.</u> , Немировская И.А. (МГУ, географический факультет, ИО РАН)
10:20 -10:40	Характеристики сгонно-нагонных колебаний уровня Белого моря	<u>Куликов М.Е.</u> , Кондрин А.Т. (МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет)
10.40-11.00	Пути миграции загрязняющих веществ в российской части Каспийского моря: от дельты Волги до Дербентской котловины	<u>Монахова Г.А.</u> , Енина О.В., Коноваленко Е.Н., Петреченкова В.Г., Чернышова Н.С. (ФГБУ «КаспМНИЦ»)
11.00-11.20	Углеводороды в морской среде северо-западной части Каспийского моря: проблемы идентификации и мониторинга	<sup>1</sup> <u>Островская Е.В.</u> , <sup>1</sup> Войнова М.В., <sup>1</sup> Холина О.И., <sup>2</sup> Колмыков Е.В. ( <sup>1</sup> ФГБУ «КаспМНИЦ», <sup>2</sup> ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»)
11.20-11.35	<b>Кофе-брейк</b>	
11.35-11.55	Неприливные колебания уровня Белого моря в синоптическом временном диапазоне	Кондрин А.Т. (Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова)
11.55-12.15	Предварительные результаты гидролого-гидрохимических исследований в прибрежной зоне Воронки Белого моря и ЮВ части Баренцева моря	<u>Д.Д.Бадюков<sup>1</sup></u> , О.М.Горшкова <sup>1</sup> , К.А.Чевель <sup>1</sup> , А.Л.Гвоздев <sup>2</sup> , В.А.Мельникова <sup>2</sup> , Н.В.Шабалин <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, <sup>2</sup> ООО «ЦМИ МГУ»)
12.15-12.35	Оценка потенциала волновой энергии для российского сектора Черного моря	<u>Столярова Е.В.</u> , Мысленков С.А., Гиппиус Ф.Н. (МГУ имени М.В. Ломоносова)
12:35 –14:00	<b>Обеденный перерыв</b>	
14.00-14.20	Системный анализ гидрологических структур морских вод и его применение в исследовании термохалинных полей Северной Атлантики	Соколов В.А. (ГОИН)
14.20-14.40	Долгопериодные изменения термохалинной структуры и циркуляции вод тропической Атлантики	<u>Миронов И.А.</u> , Демидов А.Н. (Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова)
14.40-15.00	Проявления событий Ла-Нинья в гидрометеорологических условиях Атлантико-Европейского региона	<u>Лубков А.С.</u> , Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н. (ФГБНУ «Институт природно-технических систем»)
15.00-15.20	Исследование изменения положения и интенсивности северного субполярного фронта Атлантики и ледово-термических условий Баренцева моря	Крашенинникова С.Б. (Институт природно-технических систем)
15.20-15.35	<b>Кофе-брейк</b>	
15.35-15.55	Роль аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей и изменении климата	Шевченко В.П. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН)
15.55-16.15	Ледовые условия у архипелага Новая Земля в последние 40 лет и из документов А.П.Лазарева и Ф.П.Литке в 1819-1824 гг.	Сычев В.И. (Российский государственный гидрометеорологический университет)
16.15-16.35	Экспедиционные исследования структуры прибрежных вод Калининградской области	<u>Рыков Н.А.<sup>2</sup></u> , Демидов А.Н. <sup>1</sup> , Дриго И.В. <sup>1</sup> , ( <sup>1</sup> Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, <sup>2</sup> Балтийский федеральный университет им. Канта)
16:35-16.55	Особенности биогидрохимии вод юго- и северо-восточного шельфа Сахалина: анализ результатов математического моделирования	<u>Леонов А.В.<sup>1</sup></u> , Пищальник В.М. <sup>2</sup> , Архипкин В.С. <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> ИО РАН; <sup>2</sup> СахГУ; МГУ имени М.В. Ломоносова <sup>3</sup> )
16.55-17.10	<b>Кофе-брейк</b>	
17.10-19.00	<b>Стендовая сессия Океанология</b>	
19.00-20.30	<b>Фуршет</b>	

# 20 октября

## Стендовая сессия "Океанология"

Течения прибрежной зоны Балтийского моря в районе Самбийского полуострова: изменчивость и реакция на ветровую ситуацию.	<u>Дриго И.В.</u> <sup>1</sup> , Василевская В.А. <sup>1</sup> , Слепцов Г.А. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра океанологии; <sup>2</sup> МФТИ(ГУ), кафедра термогидромеханики океана)
Биооптические показатели прибрежных вод Крыма в январе-феврале 2016 года.	<u>Ефимова Т.В.</u> , Чурилова Т.Я., Моисеева Н. А., Коваль Е. А.а, Кривенко О. В. (Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН)
Механизм возникновения и последствия крупнейших оползневых цунами	<u>А.А. Иванова</u> , Е.А. Куликов (Институт океанологии им. П.П. Ширшова)
Гидрологическая и гидрохимическая структура вод Геленджикской и Голубой бухт	Волкова В., Вылегжанина Н., Заговецкая А., <u>Ильинская А.</u> (МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии)
Развитие системы космического мониторинга ледового покрова для поддержки полевых работ на арктическом шельфе Российской Федерации	<u>Корпушенков И.А.</u> <sup>1</sup> , Пурунджан Н.А. <sup>2</sup> (МГУ имени М. В. Ломоносова <sup>1</sup> , ООО «РН-Шельф-Арктика» <sup>2</sup> )
Исследование низкочастотной изменчивости ледовитости и термохалинных характеристик Баренцева моря и ее причин	Крашенинникова М.А., <u>Крашенинникова С.Б.</u> (Институт природно-технических систем)
Численное моделирование ветрового волнения в Балтийском море	<u>Медведева А.Ю.</u> <sup>1,2</sup> , Мысленков С.А. <sup>1</sup> , Архипкин В.С. <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, <sup>2</sup> Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН)
Рельеф прибрежной зоны Балтийского моря вблизи Калининградской области	<u>Колтовская Е.В.</u> , Зуев О.А. (МГУ им. М. В. Ломоносова, МФТИ)
Многолетние изменения термохалинных характеристик водных масс Балтийского моря	<u>Рыков Н.А.</u> <sup>1</sup> , Лукина А.А. <sup>2</sup> , Лысенко С.В. <sup>2</sup> , Куликов М.Е. <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> БФУ им. И. Канта, <sup>2</sup> МФТИ (ГУ), <sup>3</sup> МГУ имени М. В. Ломоносова)
Среднесезонные вертикальные TS-профили прибрежных вод Балтики у берегов Калининградской области	Капустина М.В. <sup>2</sup> , Кречик В.А. <sup>2</sup> , Гриценко В.А. <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> БФУ им. И. Канта, <sup>2</sup> МФТИ (ГУ))

# 20 октября

## Секция "Геофизические исследования на акваториях"

09:00–12:00	<b>Регистрация</b>	
10.00-10.20	Комплексное применение отраженных и рассеянных волн для повышения эффективности разведки и разработки месторождений УВ на акватории	<u>А.А. Радван</u> , И.А. Чиркин, Е.Г. Ризанов, С.О. Колигаев (Университет «Дубна»)
10:20 –10:40	Сейсмопрофилирование и оценивание параметров дна морского шельфа при когерентном и некогерентном сейсмоакустическом зондировании	<u>А.И. Хилько</u> <sup>1</sup> , В.И.Калинина <sup>1</sup> , А.И.Малеханов <sup>1</sup> , Л.Р. Мерклин <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> ИПФ РАН, <sup>2</sup> ИО РАН им. П.П. Ширшова)
10.40-11.00	Опыт применения данных трехмерной съемки параметрическим профилографом для решения археологических задач в мелководной части Таманского залива	<u>Верхняцкий А.А.</u> <sup>1</sup> , Шматов А.А. <sup>1</sup> , Ольховский С.В. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> MarineGeoService (ООО «МГ-Сервис»), <sup>2</sup> Институт археологии РАН)
11.00-11.20	О некоторых возможностях айгеноскопии	<u>Исакевич Д.В.</u> , Исакевич В.В., Грунская Л.В. (ООО "Собственный вектор", ВлГУ)
11.20-11.35	<b>Кофе-брейк</b>	
11.35-11.55	Вопросы обустройства морских геофизических полигонов	<u>Колигаев С.О.</u> , Колигаев О.А., Вазнис В.В., Яблокова Ю.В. (Университет «Дубна»)
11.55-12.15	Поведение акустической волны в полужидких отложениях	<u>Клылов П.С.</u> , Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г.(КФУ)
12.15-12.35	Обеспечение экологической безопасности бурения скважин и разработки нефтяных месторождений на акватории на основе мониторинга микросейсмической эмиссии	<u>И.А. Чиркин</u> <sup>1,2</sup> , А.Радван <sup>1</sup> , Е.Г. Ризанов <sup>2</sup> , С.В. Каляшин <sup>1</sup> , С.О. Колигаев <sup>1</sup> , А.Э. Сиренко <sup>1,3,1</sup> Университет «Дубна», <sup>2</sup> ООО «Институт новых нефтегазовых технологий», <sup>3</sup> АО «НИИ «Атолл»)
12.35-12.55	Методика двухуровневых трехчастотных сейсмоакустических наблюдений на акваториях, контроля качества и экспресс обработки данных.	<u>Токарев М.Ю.</u> <sup>1</sup> , Бирюков Е.А. <sup>2</sup> , Иванова В.В. <sup>2</sup> Исаенков Р.И. <sup>2</sup> , Пирогова А.С. <sup>1</sup> , Понимаскин А.И. <sup>1</sup> , Токарев А.М. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> ЦАСД МГУ, <sup>2</sup> Сплит)
12:55 –14:00	<b>Обеденный перерыв</b>	

14.00-14.20	Three years of "Training-Through-Research" on Lake Baikal: progress assessment and future plans of the Class@Baikal project	Akhmanov G.G. <sup>1</sup> , Khlystov O.M. <sup>2</sup> , Poort J. <sup>3</sup> , Tokarev M.Yu. <sup>1</sup> , Minami H. <sup>4</sup> , and Class@Baikal Team <sup>(1</sup> Faculty of Geology of the LMSU, <sup>2</sup> Limnological Institution SB RAS, <sup>3</sup> Institute of Earth Sciences in Paris (ISTeP), University Pierre et Marie Curie (UPMC), Sorbonne Universités, <sup>4</sup> Kitami Institute of Technology)
14.20-14.40	The composition and genesis hydrocarbon gases in sediments of Lake Baikal	Vidisheva O.L. <sup>1</sup> , Karamova G.F. <sup>1</sup> , Akhmanov G.G. <sup>1</sup> , Kislitsina E.V. <sup>1</sup> , Slivko E.V. <sup>1</sup> , Slivko I.E. <sup>1</sup> , Khlystov O.M. <sup>2</sup> , (Faculty of Geology of the LMSU, UNESCO-MSU Training and Research Centre for Marine Geology and Geophysics <sup>1</sup> , Limnological Institution RAS <sup>2</sup> )
14.40-15.00	The structural features of the subsurface Lake Baikal sediments	Kudaev A.A. <sup>1</sup> , Korost D.V. <sup>1</sup> , Akhmanov G.G. <sup>1</sup> , Khlystov O.M. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Faculty of Geology of the LMSU, <sup>2</sup> Limnological Institution RAS)
15.00-15.20	Authigenic carbonates at Lake Baikal	Krylov A.A. <sup>1</sup> , Khlystov O.M. <sup>3</sup> , Minami H. <sup>4</sup> , Hachikubo A. <sup>4</sup> , Pogodaeva T.V. <sup>3</sup> , Zemskaj T.I. <sup>3</sup> , Logvina E.A. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Institute of Earth sciences (SPbSU), <sup>2</sup> VNIIOkeangeologia, <sup>3</sup> Limnological Institution SB RAS, <sup>4</sup> Kitami Institute of Technology)
15.20-15.35	<b>Кофе-брейк</b>	
15.35-15.55	«Underwater cultural heritage» as an educational University course	Fazlullin S.M.(IO RAS)
15.55-16.15	Heat flow anomalies on the Western Mediterranean margins and the possible role of fluid flow and salt tectonics: first results of the WestMedFlux-2016 cruise.	Poort J., Lucazeau F., Le Gal V., Rabineau M., Battani A., Akhmanov G., Bouzid A., Palomino D., Dal Cin M., Leroux E., Giliazetdinova D., Ferrante G., Si Bachir R., Koptev A., Khlystov O., Tremblin M., Camerlenghi A., Aloisi G., Migeon S., Ercilla G. and the WestMedFlux scientific team.
16.15-16.35	Gas seepage in the Northern Adriatic Sea	Ferrante Giulia M., Donda F., Volpi V., Tinivella Umberta OGS Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Trieste
16:35-16.55	Geohazard assessment on the Arctic shelf from multifrequency 2D seismic survey	Y.E. Terekhina <sup>1</sup> , A.A. Kolubakin <sup>2</sup> , A.G. Roslyakov <sup>1</sup> , M.Yu. Tokarev <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> Faculty of Geology of the LMSU, <sup>2</sup> Rosneft)
16:55-17.15	Results of three years research in the framework of the program of study of the seafloor landscape and the Late Quaternary paleogeography of Ladoga and Onega lakes	Rybalko A.E. <sup>1,2</sup> , Tokarev M.Ju. <sup>2,3</sup> , Subetto D.A. <sup>4</sup> , Korost D.V. <sup>5</sup> , Loktev A.S. <sup>5</sup> , Aleshin M.I. <sup>1</sup> , Egorova N.V. <sup>2</sup> , Belyaev P.Yu. <sup>2</sup> , Kostromina N.A. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> CASD MSU, <sup>2</sup> Institute of Earth Sciences of the SPbSU, <sup>3</sup> LMSU, <sup>4</sup> Northern Water Problems Institute of the Kar. R.C. RAS, <sup>5</sup> CMR MSU)
17.15-17.35	Хроника Class@Baikal: новые подходы, реализуемые в новом проекте Международной Программы ЮНЕСКО-МГУ «Обучение-через-исследование (Плавучий Университет)»	Несмеянова Е.М. <sup>1,2</sup> , Бубнова С.Ю. <sup>2</sup> , Ахманов Г.Г. <sup>2</sup> , Хлыстов О.М. <sup>3</sup> и команда проекта Class@Baikal ( <sup>1</sup> ООО «ЦАСД МГУ имени М.В. Ломоносова», <sup>2</sup> Учебно-научный Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова, <sup>3</sup> Лимнологический институт СО РАН)
17.50-19.00	<b>Стендовые сессии: Морская геология, Геофизические исследования на акваториях</b>	

20 октября

Стендовая сессия "Морская геология"/"Геофизические исследования на акваториях"

Программно-аппаратурный комплекс SplitMultiSeis	<u>Потемка Д.М.</u> , Бирюков Е.А., Иванова В.В., Исаенков Р.И., Токарев А.М. (ООО "СПЛИТ")
Методы обработки изображений при интерпретации данных гидролокации	<u>Марченко А.Л.</u> , Смирнова К.П. (МГУ им. М.В. Ломоносова, МГУДТ)
Некоторые результаты математической обработки данных морской магнитной съемки, проведенной в Баренцевоморском регионе, повышающие точность измерений	<u>Харитонов А.Л.</u> (ФГБУН Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН)
Оценивание геоакустических параметров слоев дна морского шельфа с помощью зондирования когерентными сейсмоакустическими импульсами	В.И.Калинина, И.П.Смирнов, А.И. Хилько (Институт прикладной физики РАН)
Примеры выделения опасностей по данным сейсмоакустических наблюдений на Арктическом шельфе.	<u>Семенова А.А.</u> <sup>1</sup> , Старовойтов А.В. <sup>2</sup> , Терехина Я.Е. <sup>1</sup> , Росляков А.Г. <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> ООО "ЦАСД МГУ", <sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова)
Морфоструктуры и активность подводных грязевых вулканов Азовского моря	Глазырин Е.А. (ГНЦ ФГУП "Южморгеология")
Первые данные об уровнях содержания редкоземельных элементов в баритах впадины Дерюгина (Охотское море)	<u>Блохин М.Г.</u> , Михайлик П.Е., Еловский Е.В., Зарубина Н.В., Остапенко Д.С (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН)
Первые результаты геолого-геофизических исследований Class@Baikal в районе грязевого вулкана Большой (озеро Байкал)	<u>Балакин И.С.</u> <sup>1</sup> , Ахманов Г.Г. <sup>1</sup> , Корост С.Р. <sup>1</sup> , Хлыстов О.М. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, <sup>2</sup> Лимнологический институт СО РАН)
Благородные металлы в железомарганцевых конкрециях атлантического океана	<u>Бережная Е.Д.</u> , Дубинин А.В., Семилова Л.С. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН)
Предварительные результаты газогеохимических исследований экспедиции «Class@Baikal - 2016»	<u>Кислицына Е.В.</u> <sup>1</sup> , Карамова Г.Ф. <sup>1</sup> , Видищева О.Н. <sup>1</sup> , Сливко Е.В. <sup>1</sup> , Сливко И.Э. <sup>1</sup> , Ахманов Г.Г. <sup>1</sup> , Хлыстов О.М. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике, <sup>2</sup> Лимнологический институт СО РАН)
Грязевой вулкан «Новосибирск» (оз. Байкал): геолого-геофизические характеристики и особенности строения.	<u>Хабуев А.В.</u> <sup>1</sup> , Соловьева М.А. <sup>2</sup> , Хлыстов О.М. <sup>1</sup> , Белоусов О.В. <sup>1</sup> , Ченский А.Г. <sup>3</sup> , Ахманов Г.Г. <sup>2</sup> , Хироцугу Минами <sup>4</sup> ( <sup>1</sup> Лимнологический институт СО РАН, <sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, <sup>3</sup> ИрНИТУ, <sup>4</sup> Технологический университет Китами)
Первые результаты геолого-геофизических исследований южного борта южной котловины оз. Байкал в рейсе "Class@Baikal-2016"	<u>Воробьев Р.В.</u> <sup>1</sup> , Корост, С.Р. <sup>1</sup> , Ахманов, Г.Г. <sup>1</sup> , Хлыстов О.М. <sup>2</sup> , ( <sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, <sup>2</sup> Лимнологический институт СО РАН)
Геоморфология, геофизическое строение и проблемы происхождения микроконтинентов и погруженных плато моря Скотия	<u>Курбатова Е.С.</u> , Дубинин Е.П., Грохольский А.Л. (Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова)
Аналоговое моделирование структурообразующих деформаций при переходе от континентального рифтинга к спредингу	Грохольский А.Л., Дубинин Е.П. (МГУ им. М.В.Ломоносова Музей земледования)
Состав и происхождение углеводородных газов в донных отложениях озера Байкал на примере грязевого вулкана «Большой» и «Танхойского поля»	<u>Карамова Г.Ф.</u> <sup>1</sup> , Видищева О.Н. <sup>1</sup> , Кислицына Е.В. <sup>1</sup> , Сливко Е.В. <sup>1</sup> , Сливко И.Э. <sup>1</sup> , Ахманов Г.Г. <sup>1</sup> , Хлыстов О.М. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике, <sup>2</sup> Лимнологический институт СО РАН)
Картирование зоны стабильности газовых гидратов в пределах арктических морей России	<u>Семёнова А.А.</u> <sup>1</sup> , Матвеева Т.В. <sup>1</sup> , Щур Н.А. <sup>2</sup> , Назарова О.В. <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> ВНИИОкеангеологии им. И.С. Грамберга <sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
Распространение газонасыщенных осадков в проливе Великая Салма и губе Ругозерская (Белое море)»	Терехина Я.Е., Пятилова А.М., <u>Гордеев Е.К.</u> (ООО «ЦАСД МГУ»)
Новые данные о проявлениях грязевого вулканизма в Керченском проливе	Корост Д.В., Миرونюк С.Г. (ООО «ЦМИ МГУ»)
Новые данные по строению четвертичного покрова Ладожского озера, полученные в результате проведенного многоканального сейсмопрофилирования при сотрудничестве ИВПС КарНЦ РАН (Петрозаводск), ЦАСД МГУ им. М.В. Ломоносова и СПбГУ в 2015-2016 г."	<u>Дамьянович Д.И.</u> <sup>1</sup> , Алёшин М.И. <sup>1</sup> , Хачатрян А.М. <sup>1</sup> , Росляков А.Г. <sup>2</sup> , Рыбалко А.Е. <sup>1</sup> , Терехина Я.Е. <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> ООО «ЦАСД МГУ», <sup>2</sup> Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова)



09:00–12:00		Регистрация
11.15–11.35	Морфометрические характеристики мидии <i>Mytilus galloprovincialis</i> из различных районов Чёрного моря (Крым)	<u>Челядина Н.С.</u> , Попов М.А. (Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН)
11.35–11.55	Влияние острой гипоксии на уровень метгемоглобина и антиоксидантный статус эритроцитов морского ерша (эксперименты <i>in vitro</i> ).	<u>Андреева А.Ю.</u> , Солдатов А.А., Кухарева Т.А., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А. (ИМБИ РАН)
11.55–12.15	Черноморский моллюск <i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805) – новый первый промежуточный хозяин для личинок трематоды <i>Gynaecotyla adunca</i> (Linton, 1905) Yamaguti, 1939 у крымского побережья Черного моря	<u>Белюсова Ю.В.</u> (Институт морских биологических исследований)
12.15–12.35	Особенности распространения популяций раков (Crustacea, Decapoda, Astacidae) на восточном шельфе Каспийского моря в современных экологических условиях.	<u>Ушивцев В.Б.</u> , Водовский Н.Б. (ФГБУН Каспийский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН)
12.35–12.55	Результаты геолого-геоморфологического и биологического анализов данных дистанционного исследования дна (гидроакустических и видеосъемки) и пробоотбора на участках площадных съемок в южной части Баренцева моря (по данным 28 рейса НИС "Академик Николай Страхов" (18-ого рейса «Плавучего Университета» - TTR-18)	<u>Е.А. Киселева</u> <sup>2</sup> , С.С. Водопьянов <sup>1</sup> , А.С. Абрамова <sup>3</sup> , Ю.А. Зарайская <sup>3</sup> , А.И. Макушкина <sup>4</sup> , ( <sup>1</sup> Биологический факультет МГУ, <sup>2</sup> ЦМИ МГУ, <sup>3</sup> ГИН РАН, <sup>4</sup> IGN, Copenhagen University)
12:55 –14:00		Обеденный перерыв
14.00–14.20	Краб-стригун ( <i>Chionoecetes opilio</i> ) – вид-вселенец в Карском море	<u>Залота А. К.</u> , Спиридонов В. А., Веденин А. А. (ИО РАН им. П.П. Ширшова )
14.20–14.40	Долговременные изменения макрозообентоса Таманского залива Азовского моря: анализ повторных съемок 1955, 2008 и 2013 гг.	<u>Колючкина Г.А.</u> , Спиридонов В.А., Беляев Н.А., Козловский В.В., Басин А.Б., Симакова У.В. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН)
14.40–15.00	Исследование кормовой базы атлантического моржа в Печорском море на полигоне между островами Вайгач и Долгий	<u>Мардашова М.В.</u> , Шабалин Н.В., Козловский В.В., Мокиевский В.О. (ООО «ЦМИ МГУ», ИО РАН)
15.00–15.20	К вопросу о видовом разнообразии и текущем распределении границ ареалов правильных морских ежей в сублиторали Курильских островов	<u>Переладов М.В.</u> , Буяновский А. И., Лабутин А.В., Зеленина Д.А., Минеева Т.В. (ФГБУ «ВНИРО»)
15.20–15.35		Кофе-брейк
15.35–15.55	Новые данные по итогам мониторинга пяти отделяющихся от Белого моря водоемов	<u>Краснова Е.Д.</u> <sup>4</sup> , Ильченко С.А. <sup>1</sup> , Гантман Ю.В. <sup>1</sup> , Кручинин И.В. <sup>1</sup> , Павлов В.И. <sup>1</sup> , Косенков А.В. <sup>1</sup> , Воронов Д.А. <sup>2,3</sup> , ( <sup>1</sup> Физический факультет МГУ, <sup>2</sup> ИППИ РАН, <sup>3</sup> Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ, <sup>4</sup> Биологический факультет МГУ)
15.55–16.15	Эпилитные диатомовые таксоцены литорали Западного Шпицбергена в период полярной ночи"	<u>Сапожников Ф.В.</u> <sup>1</sup> , Калинина О.Ю. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, <sup>2</sup> Географический факультет МГУ)
16.15–16.35	Новые возможности анализа истории Каспия по переотложенным пресноводным комплексам (диатомовый анализ).	<u>Разумовский Л.В.</u> <sup>1</sup> , Пирумова Л.Г. <sup>2</sup> , Малашенков Б.М. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> ИВП РАН, <sup>2</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова)
16.35–16.55	Состояние биологических сообществ в северной части месторождения им. Ю. Корчагина	<u>Умербаева Р.И.</u> <sup>1</sup> , Курапов А.А. <sup>1</sup> , Колмыков Е.В. <sup>2</sup> , Курманбаева А.Р. <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> Каспийский филиал ФГБУ ИО РАН, <sup>2</sup> ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», <sup>3</sup> ФГОУ ВПО «Астраханский строительный институт»)
16.55–17.10		Кофе-брейк
17.10–19.00		Стендовая сессия Морская биология

Качественный состав и количественные параметры Malacostraca Опускского природного заповедника (Юго-Восточный Крым).	<u>Тимофеев В.А.</u> , Бондаренко Л.В. (ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН»)
Временная динамика донной фауны в батиали Арктики (пролив Фрама, 2600 м)	<u>Веденин А.А.</u> <sup>1</sup> , Мокиевский В.О. <sup>1</sup> , Зольтведел Т. <sup>2</sup> , Будаева Н.Е. <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, <sup>2</sup> Alfred Wegener Institut für Polar und Meeresforschung / AWI / Bremerhaven)
Особенности флоры прибрежной зоны Валаамского архипелага	<u>Вельгоша А.Г.</u> , Зуева Н.В. (МГУ имени М.В. Ломоносова)
Анатомия висцерального аппарата проходной мальмы ( <i>Salvelinus malma</i> ) реки Кроноцкая (Камчатка).	<u>Громова Е.С.</u> <sup>1</sup> , Махотин В.В. <sup>1</sup> , Кузицин К.В. <sup>1</sup> , Маркевич Г.Н. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, <sup>2</sup> Кроноцкий государственный заповедник)
Элементный состав мягких тканей <i>Rapana venosa</i> (Gastropoda) на северо-восточном побережье Черного моря	<u>Колючкина Г.А.</u> <sup>1</sup> , Косьян А.Р. <sup>2</sup> , Будько Д.Ф. <sup>1</sup> , Панькова Е.С. <sup>3</sup> , Паньков Сергей Леонидович <sup>4</sup> ( <sup>1</sup> ИО РАН, <sup>2</sup> ИПЭЭ, <sup>3</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, <sup>4</sup> ООО «Морской клуб»)
Первые данные о многоклеточном мейобентосе из северо-восточной части Карского моря.	<u>Портнова Д.А.</u> , Гарлицкая Л.А., Кондарь Д.В. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН)
Использование метода видео регистрации для изучения вертикального распределения зоопланктона Белого моря в ходе студенческой практики.	<u>Прудковский А.А.</u> , Бондарь Н.И., Зарубина Ю.М., Каримова Н.Р., Купаева Д.М., Найденкова А.Д., Пронкина К.О., Шиян А.С. МГУ имени М.В. Ломоносова, биологический факультет)
Оценка экологического состояния эстуариев с помощью биомаркеров рыб	<u>Руднева И.И.</u> , Скуратовская Е.Н., Чеснокова И.И. (ФГБУН Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН)
Сохранение жизнеспособности клеток микроводорослей при замораживании	Харчук И.А. (ФГБУН Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН)
Донная фауна заливов архипелага Новая Земля (Карское море)	<u>Чава А.И.</u> , Веденин А.А., Симаков М.И., Удалов А.А., Щука С.А., Мокиевский В.О. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН)
Распространение и генетическое разнообразие взморника, <i>Zostera marina</i> L. в северных морях России	<u>Симакова У.В.</u> , Неретина Т.В., Колючкина Г.А., Спиридонов В.А., Локтионов Е.Ю. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, МГУ имени М. В. Ломоносова, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана)

09:00–12:00	<b>Регистрация</b>	
10.00-10.20	Сейсмостратиграфия и новейшая геология Арктики.	Хортов А.В. (Институт Океанологии РАН)
10:20 -10:40	Перспективы нефтегазоносности Баренцево-Карского региона РФ по результатам переобработки данных сейсморазведки	Мельникова М.Н., Смирнов О.А., Лукашов А.В., Недосекин А.С., Драцкий В.Н. (ООО "ИНГЕОСЕРВИС")
10.40-11.00	Закономерности и критерии выявления АВПД по данным сейсморазведки в разрезе Южно-Карского осадочного бассейна.	Зайцев А.Н., Смирнов О.А., Лукашов А.В., Фирстаева Е.Н., Драцкий В.Н. (ООО "ИНГЕОСЕРВИС")
11.00-11.20	Возможности геомагнитных аэрокосмических исследований в проведении геолого-геофизического изучения Арктического нефтегазоносного бассейна	Харитонов А.Л. (ФГБУН ИЗМИРАН РАН)
11.20-11.35	<b>Кофе-брейк</b>	
11.35-11.55	Особенности структуры толщи верхнечетвертичных отложений Северного Каспия по данным инженерно-геологических изысканий	Безродных Ю.П. (АО "Моринжгеология")
11.55-12.15	Строение и стратиграфия верхнечетвертичных отложений Северного Каспия	Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П. (АО "Моринжгеология", МГУ имени М.В. Ломоносова)
12.15-12.35	Эволюция порового давления в окрестности подводных грязевых вулканов и аккумуляция газовых гидратов	Суетнова Е.И., Жостков Р.А. (ИФЗ РАН)
12.35-12.55	Газоносность грунтов и газовые сипы Северного Каспия	Лисин В.П. <sup>2</sup> , Алексеев А.Г. <sup>1</sup> , Безродных Ю.П. <sup>2</sup> , (1)ООО «Лукойл-Нижневолжскнефть», (2)АО «Моринжгеология»)
12:55 –14:00	<b>Обеденный перерыв</b>	
14.00-14.20	Опробование магматических пород океанического дна в северной части Тихого океана и Беринговом море на НИС ЗОННЕ в рамках рейсов SO249 BERING.	Краснова Е.А. <sup>1,2</sup> , Крашенинников С.П. <sup>2</sup> , Назарова Д.П. <sup>2</sup> , Портнягин М.В. <sup>2,3</sup> , Хернле Кай <sup>3</sup> , Вернер Райнхард <sup>3</sup> , Хауфф Фолькмар <sup>3</sup> (1) Геологический факультет МГУ, (2)ГЕОХИ РАН, (3)HelmholtzCenterforOceanResearchKiel (GEOMAR))
14.20-14.40	Сейсмоакустическое изучение структуры верхней части слоя осадков во впадине Скан (море Скотия)	Сажнева А.Э. <sup>2</sup> , Шрейдер А.А. <sup>1</sup> , Шрейдер А.А. <sup>2</sup> , Ключев М.С., Галиндо-Зальдивар Хезус <sup>3</sup> , Руано Патриция <sup>3</sup> , Мальдонадо Андрес <sup>4</sup> , Мартос-Мартин Яшмина <sup>4</sup> , Лобо Франческо <sup>4</sup> (1)ООО «НИИгазэкономика», (2) ИО РАН, (3)Гранадский университет, (4) Андалузский Институт наук о Земле)
14.40-15.00	Редкоземельные элементы как индикатор источников марганца в поверхностных осадках котловины Дерюгина (Охотское море)	Михайлик П.Е., Еловский Е.В., Михайлик Е.В., Блохин М.Г. (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН)
15.00-15.35	<b>Кофе-брейк</b>	
15.35-15.55	Особенности строения глубоководной осадочной системы Хурай (оз. Байкал) по сейсмоакустическим данным	Соловьева М.А. <sup>1</sup> , Ахманов Г.Г. <sup>1</sup> , Хлыстов О.М. <sup>2</sup> , Почевалова А.В. <sup>1</sup> , Ченский А.Г. <sup>3</sup> (1)Геологический факультет МГУ, (2)Лимнологический институт СО РАН, (3)ИРНТУ)
15.55-16.15	Тенденции развития рельефа фиардово-шхерных побережий по данным крупномасштабного геоморфологического картографирования берегов и дна пролива Великая Салма (Кандалакшский залив Белого моря)	Репкина Т.Ю., Аляутдинов А.Р., Ильясов А.К., Луговой Н.Н., Мишурицкий Д.В., Романенко Ф.А., Тарнопольский Д.А., Энтин А.Л. (Географический факультет МГУ (ФГБУ))
16:15-16.35	Применение сейсмоакустического профилирования для изучения геологического строения верхней части разреза Ладожского озера	Егорова Н. В. <sup>1</sup> , Рыбалко А.Е. <sup>2</sup> , Сакулина Т.С. <sup>1</sup> , Токарев М.Ю. <sup>2</sup> , Алешин М.Ю. <sup>3</sup> (1)Институт наук о Земле, СПбГУ, (2)ООО «ЦАСД МГУ», (3)ООО «Сплит»)



09:00–12:00		Регистрация
10.00-10.20	Мониторинг соленых озер – важнейших природных ресурсов Крыма	<u>Шайда В.Г.</u> , Руднева И.И. (Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН)
10:20 -10:40	Нефтяные углеводороды в прибрежных водах Крымского полуострова	<u>Соловьёва О.В.</u> , Тихонова Е.А., Миронов О.А. (Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН)
10.40-11.00	Микроводоросли в спектре питания культивируемых мидий (Крым, Черное море)	<u>Поспелова Н.В.</u> , Балычева Д.С., Рябушко Л.И. (Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН)
11.00-11.20	Результаты исследований и прикладной деятельности Арктического Научного Центра в области попутных судовых наблюдений морских млекопитающих и птиц и минимизации оценки возможного воздействия на них при выполнении морских работ	<u>Удовик Д.А.</u> <sup>1</sup> , Исаченко А.И. <sup>2</sup> , Илюшин Д.Г. <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> РОО "Совет по морским млекопитающим", <sup>2</sup> ООО "Арктический Научный Центр", <sup>3</sup> ООО "Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова").
11.20-11.35		Кофе-брейк
11.35-11.55	Учебный курс "Экологическое сопровождение морских проектов"	Бадюков Д.Д. (Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова)
11.55-12.15	Антропогенная литодинамика Керченского пролива как один из механизмов трансформации его донных биоценозов	<u>Д.Я. Фашук</u> <sup>1</sup> , С.К. Ковальчук <sup>2</sup> , А.С. Терентьев <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН), <sup>2</sup> Крымское республиканское предприятие "Противооползневое управление", <sup>3</sup> Южный НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии (ЮгНИРО))
12.15-12.35	Нефтяное загрязнение в районе Керченского пролива	<u>Тихонова Е.А.</u> , Соловьёва О.В. (Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН)
12.35-12.55	Организация и проведение фонового экологического мониторинга в мелководной части Северного Каспия в районе деятельности ООО «Каспийская нефтяная компания»	<u>Умербаева Р.И.</u> <sup>1</sup> , Курапов А.А. <sup>1</sup> , Попова Н.В. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Каспийский филиал ФГБУ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, <sup>2</sup> ООО «Каспийская нефтяная компания»)
12.55-13.10		Кофе-брейк
13.10-14.00 <b>Стендовая сессия Рациональное природопользование и охрана окружающей среды</b>		

## Стендовая сессия "Рациональное природопользование"

GPS-технологии мониторинга береговых процессов Азово-Черноморского побережья Российской Федерации	<u>Шестопалов В.Д.</u> <sup>2</sup> , Марфин А.А. <sup>1</sup> , Глазырин Е.А. <sup>1</sup> , Клубнева О.В. <sup>1</sup> , ( <sup>1</sup> ГНЦ ФГУП «Южморгеология», <sup>2</sup> ЮНЦ РАН.)
Географо-экологические основы рационального морского природопользования	Д.Я. Фашук (Институт географии РАН (ИГРАН))
Морские школьные практики в Утришском заповеднике (Краснодарский край)	<u>Мироненко Я.В.</u> <sup>1</sup> , Рокова А.И. <sup>1</sup> , Бабич Г.О. <sup>1</sup> , Смирнов И.А. <sup>1</sup> , Симакова У. В. <sup>2</sup> , Матанова А.М. <sup>1</sup> , ( <sup>1</sup> ГБОУ Школа №171 (Москва); <sup>2</sup> Институт Океанологии РАН им. П. П. Ширшова)
Особенности функционирования мидий <i>Mytilus galloprovincialis</i> в агрегациях: данные наблюдений и моделирование	<u>Васечкина Е.Ф.</u> , Казанкова И.И. (Морской гидрофизический институт РАН, Институт природно-технических систем РАН)

09:00–12:00	<b>Регистрация</b>	
10.00-10.20	Гидрологические исследования приливных устьев малых рек Белого моря	<u>Панченко Е.Д.</u> <sup>1</sup> , Алабян А.М. <sup>1</sup> , Алексеева А.А. <sup>1</sup> , Демиденко Н.А. <sup>2</sup> , Крыленко И.Н. <sup>1</sup> , Лебедева С.В. <sup>1,2</sup> , Льюменс М. <sup>1</sup> , Попрядухин А.А. <sup>1</sup> , Фингерт Е.А. <sup>1</sup> , Фролова Н.Л. <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, <sup>2</sup> Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова)
10.40-11.00	Анализ долговременных событийных рядов в озерных экосистемах Кавказа методом графического анализа таксономических пропорций и унификации биоиндикационных реконструкций	<u>Разумовский В.Л.</u> , Разумовский Л.В. (ИВП РАН)
11.00-11.20	Маловодный период в бассейне реки Дон 2007-2015 годов: причины и последствия	<u>Илич В.П.</u> , Киреева М.Б., Гончаров А.В. (МГУ имени М.В. Ломоносова)
11.20-11.35	<b>Кофе-брейк</b>	
11.35-11.55	Изучение качества воды в озёрах Вельё и Валдайское	<u>Бекасов М.А.</u> , Ефимова Л.Е., Терский П.Н., Ерина О.Н., Горшкова О.М. (МГУ имени М.В.Ломоносова)
11.55-12.15	Сток и водный режим рек арктической зоны Европейской территории России в современных климатических условиях	Мироненко А.А. (МГУ имени М.В. Ломоносова)
12.15-12.35	Изучение пойменных озёр р. Амур: результаты гидролого-гидрохимического исследования	<u>Беляев Б.М.</u> <sup>1</sup> , Краснова Е.Д. <sup>2</sup> , Герасимова О.В. <sup>3</sup> , Смиренский С.М. <sup>4</sup> ( <sup>1</sup> Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, <sup>2</sup> Биологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, <sup>3</sup> Полярный институт морского хозяйства и океанографии им. Книповича, <sup>4</sup> Муравьевский парк устойчивого природопользования)
12.35-12.55	Зависимость состава, количественных характеристик зоопланктона и качества вод в пойменных озёрах на территории Муравьевского парка устойчивого природопользования (Амурская область) от их удалённости от р. Амур	<u>Краснова Е.Д.</u> <sup>1</sup> , Беляев Б.М. <sup>2</sup> , Герасимова О.В. <sup>3</sup> , Смиренский С.М. <sup>1,4</sup> ( <sup>1</sup> Биологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, <sup>2</sup> Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, <sup>3</sup> Полярный институт морского хозяйства и океанографии им. Книповича, <sup>4</sup> - Муравьевский парк устойчивого природопользования)
12.55-13.10	<b>Кофе-брейк</b>	
13.10-14.00	<b>Стендовая сессия Гидрология</b>	

## Стендовая сессия «Гидрология»

Современные характеристики опасных ледовых явлений на реках севера ЕТР	А.Н. Василенко (МГУ им. М.В.Ломоносова)
Реверсивные течения в устьевых областях рек на примере макроприливного эстуария Мезени	Алексеева А.А. (Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова)
Автоматизированное расчленение гидрографа для оценки вклада паводочной составляющей в сток рек ЕТР	<u>Езерова Н.Н.</u> , Киреева М.Б. (МГУ имени М.В.Ломоносова)
Весенний гидрохимический режим притоков Можайского водохранилища	<u>Ерина О.Н.</u> , Соколов Д.И., ЛикарьЭ-Л.Д., Аракельянц А.Д. (Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова)
Исследования влияния горнодобывающей деятельности на качество вод нерестовой реки на примере р. Лангери (о. Сахалин)	<u>Ефимов В.А.</u> , Летникова В.Н., Цыплёнков А.С. (МГУ им. М.В.Ломоносова)
Оценка применимости модели SNOW-17 для расчёта характеристик снежного покрова бассейнов рек европейской территории России.	ЛикарьЭ-Л.Д. (МГУ имени М.В.Ломоносова)
Гидродинамические процессы в гиперприливном эстуарии малой реки Сёмжи: возможность моделирования	Панченко Е.Д. (Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова)
Гидродинамическое моделирование макроприливного эстуария реки Мезень	<u>Фингерт Е.А.</u> <sup>1</sup> , Льюменс М. <sup>2</sup> , ( <sup>2</sup> University of Twente Faculty of Engineering Technology, <sup>1</sup> Географический факультет МГУ )
Ресурсы пресных подземных вод – стратегический источник водоснабжения Арктической зоны России	Четверикова А.В. (ИВП РАН)
Современные климатические и антропогенные изменения стока рек бассейна Вилюя.	<u>Терешина М.А.</u> , Юмина Н.М. (МГУ им. М.В. Ломоносова)
Использование спутниковой информации при прогнозировании водности в речных бассейнах Ямало-Ненецкого автономного округа.	Чурюлин Е.В. (ФГБУ ААНИИ, МГУ им. М.В. Ломоносова)
Исследование распространения пресных вод в Карском море и заливах архипелага Новая Земля методом флуоресцентной спектроскопии растворенного органического вещества	<u>Дроздова А.Н.</u> <sup>1</sup> , Пацаева С.В. <sup>2</sup> , Хунджуа Д.А. <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, <sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет)

## Оглавление

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ .....	24
История развития Ладожского и Онежского озер и их современное состояние. Субетто Д.А.....	25
Начало океанографии. Почему «Челленджер». Пантюлин А.Н.....	27
Морские многокомпонентные сейсморазведочные работы для решения инженерно-геологических и нефтегазопроисковых задач. Долгов В.В. Кузнецов В.М., Коротков И.П., Хортов А.В.....	29
Подводный грязевой вулканизм и гидратоносность озера Байкал. Хлыстов О.М. ....	31
Морская геофизика на геологическом факультете МГУ: наука, люди, экспедиции. Гайнанов В.Г.....	32
«Балтийский плавучий университет» (БПУ) и его предыстория в ЛГМИ/РГГМУ в 60–80е годы XX в. Сычев В.И. ....	35
Разработка технологии картографирования подводных ландшафтов. Терёхина Я.Е, Исаченко А.И., Барымова А.А. ....	39
Новые методы и подходы к анализу данных в гидробиологии. Азовский А.И.....	47
Многолетняя (1934-2010) динамика ареалов макрозообентоса Керченского пролива. Кучерук Н.В., Фащук Д.Я., Терентьев А.С., Литвиненко Н.В.....	48
Костоеды <i>Osedax</i> (Siboglinidae; Annelida): бескишечные черви, скелеты позвоночных и половой диморфизм. Римская-Корсакова Н.Н. ....	52
СЕКЦИЯ: ОКЕАНОЛОГИЯ .....	53
Органические соединения во взвеси поверхностных вод по маршруту НИС «Академик Николай Страхов». Титова А.М., Немировская И.А. ....	54
Характеристики сгонно-нагонных колебаний уровня Белого моря. Куликов М.Е., Кондрин А.Т.....	59
Пути миграции загрязняющих веществ в российской части Каспийского моря: от дельты Волги до Дербентской котловины. Монахова Г.А., Енина О.В., Коноваленко Е.Н., Петреченкова В.Г., Чернышова Н.С.....	63
Углеводороды в морской среде северо-западной части Каспийского моря: Проблемы идентификации и мониторинга. Островская Е.В., Войнова М.В., Холина О.И., Колмыков Е.В.....	66
Неприливные колебания уровня Белого моря в синоптическом временном диапазоне. Кондрин А.Т.....	69
Предварительные результаты гидролого-гидрохимических исследований в прибрежной зоне Воронки Белого моря и ЮВ части Баренцева моря. Д.Д.Бадюков, О.М.Горшкова, К.А.Чевель, А.Л.Гвоздев, В.А.Мельникова, Н.В.Шабалин .....	72
Оценка потенциала волновой энергии для российского сектора Черного моря. Столярова Е.В., Мысленков С.А., Гиппиус Ф.Н. ....	78
Системный анализ гидрологических структур морских вод и его применение в исследовании термохалинных полей Северной Атлантики. Соколов В.А.....	81

Долгопериодные изменения термохалинной структуры и циркуляции вод тропической Атлантики. Миронов И.А., Демидов А.Н. ....	82
Проявления событий Ла-Нинья в гидрометеорологических условиях Атлантико-Европейского региона. Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., Лубков А.С. ....	84
Исследование изменения положения и интенсивности северного субполярного фронта атлантики и ледово-термических условий Баренцева моря. Крашенинникова С.Б. ....	88
Роль аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей и изменении климата. Шевченко В.П. ....	93
Ледовые условия у архипелага Новая Земля в последние 40 лет и из документов А.П.Лазарева и Ф.П.Литке в 1819-1824 гг. Сычев В.И. ....	97
Экспедиционные исследования структуры прибрежных вод Калининградской области. Демидов А.Н., Рыков Н.А, Дриго И.В. ....	102
Особенности биогидрохимии вод юго- и северо-восточного шельфа Сахалина: анализ результатов математического моделирования. Леонов А.В., Пищальник В.М., Архипкин В.С. ....	105
<b>СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: ОКЕАНОЛОГИЯ</b> .....	110
Течения прибрежной зоны Балтийского моря в районе Самбийского полуострова: изменчивость и реакция на ветровую ситуацию. Василевская В.А., Дриго И.В., Слепцов Г.А. ....	111
Биооптические показатели прибрежных вод Крыма в январе-феврале 2016 года. Ефимова Т.В., Чурилова Т.Я., Моисеева Н.А., Коваль Е.А., Кривенко О.В. ....	115
Механизм возникновения и последствия крупнейших оползневых цунами. Иванова А.А., Куликов Е.А. ....	120
Гидрологическая и гидрохимическая структура вод Геленджикской и Голубой бухт. Волкова В.В., Вылегжанина Н.Е., Заговенкова А.Д., Ильинская А.А. ....	123
Развитие системы космического мониторинга ледового покрова для поддержки полевых работ на арктическом шельфе Российской Федерации. Корпушенков И.А., Пурунджан Н.А. ....	127
Исследование низкочастотной изменчивости ледовитости и термохалинных характеристик Баренцева моря и ее причин. Крашенинникова М.А., Крашенинникова С.Б. ....	132
Численное моделирование ветрового волнения в Балтийском море. Медведева А.Ю., Мысленков С.А., Архипкин В.С. ....	136
Рельеф прибрежной зоны Балтийского моря вблизи Калининградской области. Колтовская Е.В., Зувев О.А. ....	141
Многолетние изменения термохалинных характеристик водных масс Балтийского моря. Рыков Н.А., Лукина А.А., Лысенко С.В., Куликов М.Е. ....	144
Среднесезонные вертикальные TS-профили прибрежных вод Балтики у берегов Калининградской области. Капустина М.В., Кречик В.А., Гриценко В.А. ....	147
<b>СЕКЦИЯ: ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АКВАТОРИЯХ</b> .....	151
Комплексное применение отраженных и рассеянных волн для повышения эффективности разведки и разработки месторождений УВ на акватории. Радван А.А., Чиркин И.А. Ризанов Е.Г., Колигаев С.О. ....	152

Сейсмопрофилирование и оценивание параметров дна морского шельфа при когерентном и некогерентном сейсмоакустическом зондировании. Калинина В.И., Малеханов А.И., Мерклин Л.Р., Хилько А.И.....	157
Опыт применения данных трехмерной съемки параметрическим профилографом для решения археологических задач в мелководной части Таманского залива. Шматков А.А., Ольховский С.В., Верхняцкий А.А. ....	161
О некоторых возможностях айгеноскопии. Исакевич Д.В., Исакевич В.В., Грунская Л.В...	164
Вопросы обустройства морских геофизических полигонов. Колигаев О.А., Колигаев С.О., Вазнис В.В., Яблокова Ю.В. ....	167
Поведение акустической волны в полужидких отложениях. Крылов П.С., Нурғалиев Д.К., Ясонов П.Г. ....	171
Обеспечение экологической безопасности бурения скважин и разработки нефтяных месторождений на акватории на основе мониторинга микросейсмической эмиссии. Чиркин И.А., Радван А., Ризанов Е.Г., Каляшин С.В., Колигаев С.О., Сиренко А.Э. ....	175
Методика двухуровневых трехчастотных сейсмоакустических наблюдений на акваториях, контроля качества и экспресс обработки данных. Токарев М.Ю., Бирюков Е.А., Иванова В.В., Исаенков Р.И., Пирогова А.С., Понимаскин А.И., Токарев А.М. ....	180
<b>СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АКВАТОРИЯХ.....</b>	<b>185</b>
Программно-аппаратурный комплекс SplitMultiSeis. Потемка Д.М., Бирюков Е.А., Иванова В.В., Исаенков Р.И., Токарев А.М. ....	186
Обработка изображений при интерпретации данных гидролокации. Марченко А.Л., Смирнова К.П. ....	190
Некоторые результаты математической обработки данных морской магнитной съемки, проведенной в Баренцевоморском регионе, повышающие точность измерений. Харитонов А.Л. ....	195
Оценивание геоакустических параметров слоев дна морского шельфа с помощью зондирования когерентными сейсмоакустическими импульсами. Калинина В.И., Смирнов И.П., Хилько А.И. ....	200
Примеры выделения опасностей по данным сейсмоакустических наблюдений на Арктическом шельфе. Семенова А.А., Старовойтов А.В., Терехина Я.Е., Росляков А.Г...	205
Распространение газонасыщенных осадков в губе Ругозерская и проливе Великая Салма (Белое море). Терехина Я.Е., Гордеев Е.К., Пятилова А.М. ....	207
Новые данные по строению четвертичного покрова Ладожского озера, полученные в результате проведенного многоканального сейсмопрофилирования при сотрудничестве ИВПС КарНЦ РАН (Петрозаводск), ЦАСД МГУ им. М.В. Ломоносова и СПбГУ в 2015-2016 г. Дамянович Д.И., Алёшин М.И., Хачатрян А.М., Росляков А.Г., Рыбалко А.Е., Терёхина Я.Е. ....	209
<b>СЕКЦИЯ: OFFSHORE TRAINING-THROUGH-RESEARCH .....</b>	<b>213</b>
Three years of "Training-through-Research" on Lake Baikal: progress assessment and future plans of the Class@Baikal project. Akhmanov G.G., Khlystov O.M., Poort J., Tokarev M.Yu., Minami H., and Class@Baikal Team.....	214
Хроника Class@Baikal: новые подходы, реализуемые в новом проекте Международной Программы ЮНЕСКО-МГУ «Обучение-через-исследование (Плавучий Университет)».	

Несмеянова Е.М., Бубнова С.Ю., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. и команда проекта Class@Baikal .....	216
Состав и происхождение углеводородных флюидов в донных осадках озера Байкал. Видищева О.Н., Карамова Г.Ф., Кислицына Е.В., Сливко Е.В., Сливко И.Э., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. ....	217
Особенности строения приповерхностных донных отложений озера Байкал. Кудаев А.А., Корост Д.В., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.....	220
Аутигенные карбонаты озера Байкал. Крылов А.А., Хлыстов О.М., Минами Х., Хачикубо А., Погодаева Т.В., Земская Т.И., Логвина Е.А.....	222
«Подводное культурное наследие» как образовательный университетский курс. Фазлуллин С. М.....	225
Heat flow anomalies on the Western Mediterranean margins and the possible role of fluid flow and salt tectonics: first results of the WestMedFlux-2016 cruise. Poort J., Lucazeau F., Le Gal V., Rabineau M., Battani A., Akhmanov G., Bouzid A., Palomino D., Dal Cin M., Leroux E., Gillazetdinova D., Ferrante G., Si Bachir R., Koptev A., Khlystov O., Tremblin M., Camerlenghi A, Aloisi G., Migeon S., Ercilla G. and the WestMedFlux scientific team. ....	230
Gas seepage in the Northern Adriatic Sea. Ferrante G.M., Donda F., Volpi V., Tinivella U. ....	231
Выявление геологических опасностей в Арктических морях по данным трехчастотного сейсмического профилирования. Терёхина Я.Е., Колюбакин А.А., Росляков А.Г., Токарев М.Ю.....	234
Результаты трехлетних работ по программе изучения донных ландшафтов и палеогеографии позднечетвертичного времени на Ладожском и Онежском озерах. Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Субетто Д.А., Корост Д.В., Локтев А.С., Алешин М.И., Егорова Н.В., Беляев П.Ю., Костромина Н.А.....	238
<b>СЕКЦИЯ: МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ.....</b>	<b>242</b>
Сейсмострафиграфия и новейшая геология Арктики. Хортов А.В., Мутовкин А.Д. ....	243
Перспективы нефтегазоносности Баренцево-Карского региона РФ по результатам переобработки данных сейсморазведки. Смирнов О.А., Лукашов А.В., Недосекин А.С., Фирстаева Е.Н., Мельникова М.Н., Драцкий В.Н.....	245
Закономерности и критерии выявления АВПД по данным сейсморазведки в разрезе Южно-Карского осадочного бассейна. Смирнов О.А., Зайцев А.Н., Лукашов А.В., Фирстаева Е.Н., Драцкий В.Н. ....	248
Возможности геомагнитных аэрокосмических исследований в проведении геолого-геофизического изучения Арктического нефтегазоносного бассейна. Харитонов А.Л. ....	251
Особенности структуры толщи верхнечетвертичных отложений Северного Каспия по данным инженерно-геологических изысканий. Безродных Ю.П.....	255
Строение и стратиграфия верхнечетвертичных отложений Северного Каспия. Безродных Ю.П., Сорокин В.М., Янина Т.А. ....	260
Эволюция порового давления в окрестности подводных грязевых вулканов и аккумуляция газовых гидратов. Суетнова Е.И., Жостков Р.А.....	264
Газоносность грунтов и газовые сипы Северного Каспия. Алексеев А.Г., Безродных Ю.П., Лисин В.П. ....	267

Опробование магматических пород океанического дна в северной части Тихого океана и Беринговом море на НИС ЗОННЕ в рамках рейсов SO249 BERING.Краснова Е.А., Крашенинников С.П., Назарова Д.П., Портнягин М.В., Хернле Кай, Вернер Райнхард, Хауфф Фолькмар .....	271
Сейсмоакустическое изучение структуры верхней части слоя осадков во впадине Скан (море Скотия). Шрейдер А.А., Шрейдер А.А., Сажнева А., Ключев М.С., Галиндо-Зальдивар Хезус, Руано Патриция, Мальдонадо Андрес, Мартос-Мартин Яшмина,Лобо Франческо.....	274
Редкоземельные элементы как индикатор источников марганца в поверхностных осадках котловины Дерюгина (Охотское море). Михайлик П.Е., Еловский Е.В., Михайлик Е.В., Блохин М.Г.....	279
Особенности строения глубоководной осадочной системы Хурай (оз. Байкал) по сейсмоакустическим данным. Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., Почевалова А.В., Ченский А.Г.....	284
Тенденции развития рельефа фиардово-шхерных побережий по данным крупномасштабного геоморфологического картографирования берегов и дна пролива Великая Салма (Кандалакшский залив Белого моря). Репкина Т.Ю., Аляутдинов А.Р., Ильясов А.К., Луговой Н.Н., Мишурицкий Д.В., Романенко Ф.А., Тарнопольский Д.А., Энтин А.Л.....	286
Применение сейсмоакустического профилирования для изучения геологического строения верхней части разреза Ладожского озера. Егорова Н.В., Рыбалко А.Е., Сакулина Т.С., Токарев М.Ю., Алешин М.Ю.....	291
<b>СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ.....</b>	<b>295</b>
Мониторинг процессов морфолитогенеза приливных осушек Кандалакшского залива Белого моря с использованием БПЛА. Аляутдинов А.Р., Репкина Т.Ю., Шафоростов В.М., Энтин А.Л., Луговой Н.Н. ....	296
Морфоструктуры и активность подводных грязевых вулканов Азовского моря. Глазырин Е.А.....	300
Первые данные об уровнях содержания редкоземельных элементов в баритах впадины Дерюгина (Охотское море). Блохин М.Г., Михайлик П.Е., Еловский Е.В., Зарубина Н.В., Остапенко Д.С.....	304
Первые результаты геолого-геофизических исследований Class@Baikal в районе грязевого вулкана Большой (озеро Байкал). Балакин И.С., Ахманов Г.Г., Корост С.Р., Хлыстов О.М. ....	309
Благородные металлы в железомарганцевых конкрециях атлантического океана. Бережная Е.Д., Дубинин А.В., Семилова Л.С.....	311
Предварительные результаты газогеохимических исследований экспедиции «Class@Baikal-2016». Кислицына Е.В., Карамова Г.Ф., Видищева О.Н., Сливко Е.В., Сливко И.Э., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.....	314
Грязевой вулкан «Новосибирск» (оз. Байкал): геолого-геофизические характеристики и особенности строения. Хабуев А.В., Соловьева М.А., Хлыстов О.М., Белоусов О.В., Ченский А.Г., Ахманов Г.Г., Хироцугу Минами .....	316
Первые результаты геолого-геофизических работ Class@Baikal-2016 на южном борту южной котловины озера Байкал. Воробьев Р.В., Корост С.Р., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.	318



Геоморфология, геофизическое строение и проблемы происхождения микроконтинентов и погруженных плато моря Скотия. Курбатова Е.С., Дубинин Е.П., Грохольский А.Л. ....	319
Аналоговое моделирование структурообразующих деформаций в процессе перехода от континентального рифтинга к спредингу. Грохольский А.Л., Дубинин Е.П. ....	323
Состав и происхождение углеводородных газов в донных отложениях озера Байкал на примере грязевого вулкана «Большой» и «Танхойского поля». Карамова Г.Ф., Видищева О.Н., Кислицына Е.В., Сливко Е.В., Сливко И.Э., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. ....	327
Картирование зоны стабильности газовых гидратов в пределах арктических морей России. Семёнова А.А., Матвеева Т.В., Щур Н.А., Назарова О.В. ....	329
Новые данные о проявлениях грязевого вулканизма в Керченском проливе. Корост Д.В., Миронюк С.Г. ....	331
СЕКЦИЯ: МОРСКАЯ БИОЛОГИЯ .....	334
Морфометрические характеристики мидии <i>Mytilus galloprovincialis</i> из различных районов Чёрного моря (Крым). Челядина Н.С., Попов М.А. ....	335
Влияние острой гипоксии на уровень метгемоглобина и антиоксидантный статус эритроцитов морского ерша (эксперименты <i>in vitro</i> ). Солдатов А.А., Андреева А.Ю., Кухарева Т.А., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А. ....	338
Черноморский моллюск <i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805) – новый первый промежуточный хозяин для личинок трематоды <i>Gynaecotyla adunca</i> (Linton, 1905) Yamaguti, 1939 у крымского побережья Черного моря. Белоусова Ю.В. ....	342
Особенности распространения популяций раков (Crustacea, Decapoda, Astacidae) на восточном шельфе Каспийского моря в современных экологических условиях. Ушивцев В.Б., Водовский Н.Б. ....	344
Результаты геолого-геоморфологического и биологического анализов данных дистанционного исследования дна (гидроакустических и видеосъемки) и пробоотбора на участках площадных съемок в южной части Баренцева моря (по данным 28 рейса НИС "Академик Николай Страхов"(18-ого рейса «Плавучего Университета» - ТТР-18). Киселева Е.А., Водопьянов С.С., Абрамова А.С., Зарайская Ю.А., Макушкина А.И. ....	348
Краб-стригун ( <i>Chionoecetes opilio</i> ) – вид-вселенец в Карском море. Залота А.К., Спиридонов В.А., Веденин А.А. ....	354
Долговременные изменения макрозообентоса Таманского залива Азовского моря: анализ повторных съемок 1955, 2008 и 2013 гг. Колючкина Г.А., Спиридонов В.А., Беляев Н.А., Козловский В.В., Басин А.Б., Симакова У.В. ....	357
Исследование кормовой базы атлантического моржа в Печорском море на полигоне между островами Вайгач и Долгий. Мардашова М.В., Шабалин Н.В., Козловский В.В., Мокиевский В.О. ....	362
К вопросу о видовом разнообразии и текущем распределении границ ареалов правильных морских ежей в сублиторали Курильских островов. Переладов М.В., Буяновский А.И., Лабутин А.В., Зеленина Д.А., Минеева Т.В. ....	367
Новые данные по итогам мониторинга пяти отделяющихся от Белого моря водоемов. Ильченко С.А., Гантман Ю.В., Кручинин И.В., Павлов В.И., Косенков А.В., Воронов Д.А., Краснова Е.Д. ....	371

Эпилитные диатомовые таксоцены литорали западного шпицбергена в период полярной ночи. Сапожников Ф.В., Калинина О.Ю.....	374
Новые возможности анализа истории Каспия по переотложенным пресноводным комплексам (диатомовый анализ). Разумовский Л.В., Пирумова Л.Г., Малашенков Б.М. .	376
Состояние биологических сообществ в северной части месторождения им. Ю. Корчагина. Умербаева Р.И., Курапов А.А., Колмыков Е.В., Курманбаева А.Р.....	380
<b>СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: МОРСКАЯ БИОЛОГИЯ .....</b>	<b>383</b>
Качественный состав и количественные параметры Malacostraca Опуцкого природного заповедника (Юго-Восточный Крым). Бондаренко Л.В., Тимофеев В.А. ....	384
Временная динамика донной фауны в батиали Арктики (пролив Фрама, 2600 м). Веденин А.А., Мокиевский В.О., Зольтведел Т., Будаева Н.Е.....	389
Особенности флоры прибрежной зоны Валаамского архипелага. Вельгоша А.Г., Зуева Н.В. ....	394
Анатомия висцерального аппарата проходной мальмы ( <i>Salvelinus malma</i> ) реки Кроноцкая (Камчатка). Громова Е.С., Махотин В.В., Кузищин К.В., Маркевич Г.Н. ....	398
Элементный состав мягких тканей <i>Rapana venosa</i> (Gastropoda) на северо-восточном побережье Черного моря. Колючкина Г.А., Косьян А.Р., Будько Д.Ф., Панькова Е.С., Паньков С.Л.....	402
Первые данные о многоклеточном мейобентосе из северо-восточной части Карского моря. Портнова Д.А., Гарлицкая Л.А., Кондарь Д.В. ....	406
Использование метода видеорегистрации для изучения вертикального распределения зоопланктона Белого моря в ходе студенческой практики. Прудковский А.А., Бондарь Н.И., Зарубина Ю.М., Каримова Н.Р., Купаева Д.М., Найденова А.Д., Пронкина К.О., Шиян А.С. ....	410
Оценка экологического состояния эстуариев с помощью биомаркеров рыб. Руднева И.И., Скуратовская Е.Н., Чеснокова И.И.....	412
Сохранение жизнеспособности клеток микроводорослей при замораживании. Харчук И.А. ....	416
Донная фауна заливов архипелага Новая Земля (Карское море). Чава А.И., Веденин А.А., Симаков М.И., Удалов А.А., Щука С.А., Мокиевский В.О. ....	420
Распространение и генетическое разнообразие взморника, <i>Zostera marina</i> L. в северных морях России. Симакова У.В., Неретина Т.В., Колючкина Г.А., Спиридонов В.А., Локтионов Е.Ю. ....	423
<b>СЕКЦИЯ: РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ .....</b>	<b>427</b>
Мониторинг соленых озер – важнейших природных ресурсов Крыма. Шайда В.Г., Руднева И.И. ....	428
Нефтяные углеводороды в прибрежных водах Крымского полуострова. Соловьёва О.В., Тихонова Е.А., Миронов О.А. ....	430
Микроводоросли в спектре питания культивируемых мидий (Крым, Черное море). Поспелова Н.В., Балычева Д.С., Рябушко Л.И. ....	434
Результаты исследований и прикладной деятельности АНЦ в области попутных судовых наблюдений морских млекопитающих и орнитофауны, и оценки возможного воздействия	

на них при выполнении морских работ. Исаченко А.И., Павлов В.А., Удовик Д.А., Глазов Д.М., Глебова М.А., Илюшин Д.Г.....	439
Учебный курс «Экологическое сопровождение морских проектов». Бадюков Д.Д.....	444
Антропогенная литодинамика Керченского пролива как один из механизмов трансформации его донных биоценозов». Фащук Д.Я., Ковальчук С.К., Терентьев А.С. ...	449
Нефтяное загрязнение в районе Керченского пролива. Тихонова Е.А., Соловьёва О.В...	453
Организация и проведение фоновое экологического мониторинга в мелководной части Северного Каспия в районе деятельности ООО «Каспийская нефтяная компания». Курапов А.А., Попова Н.В., Умербаева Р.И.....	457
<b>СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ .....</b>	<b>459</b>
GPS-технологии мониторинга береговых процессов Азово-Черноморского побережья Российской Федерации. Марфин А.А., Глазырин Е.А., Клубнева О.В., Шестопалов В.Л. .	460
Географо-экологические основы рационального морского природопользования. Фащук Д.Я. ....	464
Морские школьные практики в Утришском заповеднике (Краснодарский край). Смирнов И.А., Симакова У.В., Матанова А.М., Бабич Г.О., Рокова А.И., Мироненко Я.В. ....	468
Особенности функционирования мидий <i>Mytilis galloprovincialis</i> в агрегациях: данные наблюдений и моделирование. Васечкина Е.Ф., Казанкова И.И.....	471
<b>СЕКЦИЯ: ГИДРОЛОГИЯ .....</b>	<b>475</b>
Гидрологические исследования приливных устьев малых рек Белого моря. Алабян А.М., Алексеева А.А., Демиденко Н.А., Крыленко И.Н., Лебедева С.В., Льюменс М., Панченко Е.Д., Попрядухин А.А., Фингерт Е.А., Фролова Н.Л.....	476
Анализ долговременных событийных рядов в озерных экосистемах Кавказа методом графического анализа таксономических пропорций и унификации биоиндикационных реконструкций. Разумовский В.Л., Разумовский Л.В.....	480
Маловодный период в бассейне реки Дон 2007-2015 годов: причины и последствия. Илич В.П., Киреева М.Б., Гончаров А.В. ....	483
Изучение качества воды в озёрах Вельё и Валдайское. Бекасов М.А., Ефимова Л.Е., Терский П.Н., Ерина О.Н., Горшкова О.М. ....	487
Сток и водный режим рек арктической зоны Европейской территории России в современных климатических условиях. Мироненко А.А. ....	491
Изучение пойменных озер р. Амур: результаты гидролого-гидрохимического исследования. Беляев Б.М., Краснова Е.Д., Герасимова О.В., Смиренский С.М.....	495
Зависимость состава, количественных характеристик зоопланктона и качества вод в пойменных озерах на территории Муравьевского парка устойчивого природопользования (Амурская область) от их удалённости от р. Амур. Краснова Е.Д., Беляев Б.М., Герасимова О.В., Смиренский С.М.....	500
<b>СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: ГИДРОЛОГИЯ .....</b>	<b>504</b>
Современные характеристики опасных ледовых явлений на реках севера ЕТР. Василенко А.Н. ....	505
Реверсивные течения в устьевых областях рек на примере макроприливного эстуария Мезени. Алексеева А.А. ....	508

Автоматизированное расчленение гидрографа для оценки вклада паводочной составляющей в сток рек ЕТР. Езерова Н.Н., Киреева М.Б. ....	513
Весенний гидрохимический режим притоков Можайского водохранилища. Ерина О.Н., Соколов Д.И., Ликарь Э.-Л.Д., Аракельянц А.Д. ....	517
Исследования влияния горнодобывающей деятельности на качество вод нерестовой реки на примере р. Лангери (о. Сахалин). Ефимов В.А., Летникова В.Н., Цыплёнков А.С.	520
Оценка применимости модели SNOW-17 для расчёта характеристик снежного покрова бассейнов рек европейской территории России. Ликарь Э.-Л.Д. ....	524
Гидродинамические процессы в гиперприливном эстуарии малой реки Сёмжи: возможность моделирования. Панченко Е.Д. ....	527
Гидродинамическое моделирование макроприливного эстуария реки Мезень. Льюменс М., Фингерт Е.А. ....	530
Ресурсы пресных подземных вод – стратегический источник водоснабжения Арктической зоны России. Четверикова А.В. ....	534
Современные климатические и антропогенные изменения стока рек бассейна Вилюя. Терешина М.А., Юмина Н.М. ....	537
Использование спутниковой информации при прогнозировании водности в речных бассейнах Ямало-Ненецкого автономного округа. Чурюлин Е.В. ....	541
Исследование распространения пресных вод в Карском море и заливах архипелага Новая Земля методом флуоресцентной спектроскопии растворенного органического вещества. Дроздова А.Н., Пацаева С.В., Хунджуа Д.А. ....	546

## **ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## **История развития Ладожского и Онежского озер и их современное состояние.**

**Субетто Д.А.**

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН*

Ладожское и Онежское озера являются крупнейшими европейскими озёрами с огромным общим водосборным бассейном 258000 км<sup>2</sup>. Оба озера с учётом качества их вод являются важнейшими природными объектами Северо-запада России, обеспечивающими стратегический запас питьевой воды и, следовательно, требующим особых принципов и методов мониторинга и охраны. Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН более 60-ти лет ведет наблюдения на озерах. К настоящему времени изучены температурный, гидрологический, химический режим, рассмотрена роль биоты в процессах функционирования озер, разработаны модели, позволяющие проследить реакцию экосистем Ладоги и Онеги на различную фосфорную нагрузку и изменение температуры (Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения, 1990; Астраханцев и др., 1997; Онежское озеро, 1999; Филатов и др., 2006; Руховец и др., 2006; Ladoga and Onego – Great European Lakes, 2010, Атлас Онежское озеро, 2010; и др.). Озёра расположены на границе Восточно-европейской платформы и Фенноскандинавского кристаллического щита в древних тектонических котловинах, преобразованных экзарационной и аккумулятивной деятельностью ледников четвертичных оледенений, а также эрозионной и аккумулятивной деятельностью морских и пресноводных бассейнов в межледниковые эпохи. Геологические и палеолимнологические исследования донных отложений Ладожского и Онежского озер в последние десятилетия, основанные на изучение кернов донных отложений, позволили восстановить основные этапы их палеогеографического развития в поздне- и послеледниковое время. Котловины Ладожского и Онежского озер стали заполняться водой по мере разрушения и таяния ледника последнего валдайского оледенения. Согласно варвохронологическим, радиоуглеродным и палеомагнитным исследованиям озерно-ледниковых ленточных глин, вскрытых в котловинах обоих озёр, было установлено, что котловина Онежского озера освободилось ото льда в интервале времени 15000 - 12500 лет назад. В это время котловина Онежского озера заполнялась водами приледникового бассейна, значительно превышавшего современное Онежское озеро по площади зеркала и по объему воды. Сток из приледникового озера менял свое местоположение и направление в зависимости от послеледниковых тектонических движений в Прионежье и в самой котловине от юго-западного направления в сторону современного оз.Ильмень, к западному в Балтийское ледниковое озеро, затем к северному в направлении котловины Белого моря, затем снова в к западному. Котловина Ладожского озера начинает освобождаться ото льда чуть позже около 13300 лет и на протяжении почти 2000 лет является частью крупного приледникового пресноводного бассейна – Балтийского ледникового озера. Потепление климата на рубеже позднего плейстоцена и голоцена привело к активному таянию и сокращению площади Балтийского ледникового щита, в результате чего в районе современной г. Биллинген в центральной Швеции около 11500 лет назад произошло формирование каналов стока, известных в литературе как среднешведских проливов. Это привело к падению уровня Балтийского ледникового озера на 25 м и, как следствие, к освобождению из-под воды обширных территорий, понижению порога стока для всего водосборного бассейна Балтики, изоляции Ладожского озера, к изменению гидрографической сети. В котловину Балтики впервые проникают морские воды Мирового океана, формируя солоноватоводные условия. Ладожское и Онежское озера являются объектами комплексного использования: служат источником питьевого, коммунально-бытового, промышленного водоснабжения и приемником сточных вод, частью водно-транспортной магистрали, имеют большое

рыбохозяйственное и бытовое значение. Именно поэтому остро стоит вопрос о необходимости комплексного исследования этих крупнейших озер и их водосборного бассейна.

Исследования проводятся при поддержке гранта РФФИ № 14-17-00766.

## **Начало океанографии. Почему «Челленджер».**

**Пантюлин Анатолий Николаевич**

*Кафедра океанологии географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова,  
г. Москва*

1. В 2016 году исполнилось 140 лет завершения кругосветной экспедиции на корабле «Челленджер». Среди океанологов принято считать, что с этого плавания и начинается океанография, как сложившаяся, самостоятельная наука. В качестве аргументов традиционно приводятся количества пройденных миль, промеров, проб грунта, измерений температуры воды, множество обнаруженных на разных глубинах новых видов морских организмов. Попытаемся дополнить и конкретизировать доводы в пользу того, чтобы рассматривать именно эту экспедицию началом науки об океане.

2. Середина XIX в. отмечена заметной активизацией изучения океанов и морей в разных странах, которая сопровождалась постепенным переходом от исследователей-одиночек к образованию научных ассоциаций. Следует выделить два события, которые стимулировали отмеченные тенденции. В 1844 г. британский биолог Эдвард Форбс выдвинул гипотезу о безжизненной зоне океана. Ее главный тезис - жизнь в океане не распространяется глубже 300 саженей (550 м). Провокативность гипотезы Форбса заключалась в том, что он сам исследовал распределение жизни в океане до глубин не более 500 м. Поэтому его суждения об отсутствии жизни на больших глубинах строились на экстраполяции. Биологи разных стран (Германии, Франции, Великобритании, США) начали предпринимать усилия, чтобы проверить сомнительную гипотезу. Другим стимулом развития глубоководных океанских исследований стала идея прокладки трансатлантического подводного телеграфного кабеля. С большими трудностями, в течение 1854-1866 гг. ее удалось реализовать.

3. В Великобритании начинается активная деятельность, направленная на расширение глубоководных исследований. Инициаторами стали два известных биолога, У. Томсон и У. Карпентер. Сначала они организовали три экспедиции в 1868-1870 гг. в Северной Атлантике и Средиземном море, в которых удалось взять пробы грунта и фауны до глубин более 4000 м. Полученные результаты стали основанием для планирования кругосветного плавания. В течение года им удалось согласовать программу экспедиции в Королевском обществе и получить в Адмиралтействе достойный корабль с символическим названием – «Челленджер» (бросающий вызов).

4. Экспедиция на корабле «Челленджер» прошла в 1872-1876 гг. Прежде всего, она была направлена на решение фундаментальной, глобальной проблемы: каковы пределы распространения жизни в глубинах океана. Проблемы не только биологической, а требующей для своего решения участия других научных дисциплин.

5. В программе экспедиции впервые была сформулирована структура новой науки, определены четыре главных направления: биология океана, геология океана, физика океана, химия океана.

6. Впервые была введена должность начальника экспедиции. Единоначалие превратилось в двоевластие. В инструкции капитану было указано, что главным в проведении научных исследований является начальник экспедиции. Чтобы подкрепить статус У.Томсона, ему было назначено жалованье в пять раз большее, чем другим членам научной группы.



7. В отчетах экспедиции впервые определен смысл океанографической станции, как комплекса наблюдений переменного состава, проведенного в фиксированной точке за фиксированное время. Так появился «океанографический байт», информационная единица, которой много десятилетий пользуются океанографы.

8. До «Челленджера» представления о структуре и динамике океана основывались только на измерениях температуры воды. Термические образы океана – это Гольфстрим на карте Б. Франклина, двухслойная вертикальная структура вод (теплый и холодный океан), схема меридиональной циркуляции в версии Э.Х. Ленца. В экспедиции были собраны 77 проб воды по маршруту и с разных глубин. Эти пробы были обработаны У. Диттмаром и в 1884 г результаты были опубликованы. Закон постоянства солевого состава вод океана был окончательно подтвержден и получил всеобщее признание. Еще немного и появится метод прямого определения солености (титрование на хлор), а значит начнется пересмотр структурно-динамического портрета океана на основе двух переменных: температуры и солености. Таким образом, экспедиция стала переходом на новый уровень сложности представлений об океане.

9. В 1910 г состоялась знаменательная экспедиция на судне «М. Сарс» в Северной Атлантике. Организатором и спонсором экспедиции был Дж. Мюррей, один из участников плавания на «Челленджере», на плечи которого в силу обстоятельств легла тяжелая работа по обработке результатов и подготовке отчета (около 50 томов). А состояла экспедиция из скандинавских ученых, среди которых были И.Йорт и Б. Хелланд-Хансен. По существу, это была передача эстафеты от британской океанографической школы, задававшей тон более 25 лет, к скандинавской океанографической школе. Такое крайне редкое в науке благородное событие тоже по праву принадлежит «Челленджеру».

10. В заключение, следует пояснить неточность, которая содержится в заглавии доклада. Дело в том, что в отчетах «Челленджера» нет слова океанография. То есть, экспедиция ознаменовала начало науки, название которой возникло параллельно и только потом заняло положенное ей место. А появилось впервые это слово в монографии Г.Богуславски и О. Крюммеля Руководство по океанографии, 1884, 1887.

**Морские многокомпонентные сейсморазведочные работы для решения инженерно-геологических и нефтегазоперспективных задач.**

**Долгов Владислав Викторович<sup>1</sup>, Кузнецов Василий Маркович<sup>2</sup>, Коротков Илья Петрович<sup>2</sup>, Хортов Алексей Владимирович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Глобал Геофизикал Сервисес-Хазар»

<sup>2</sup>ООО «Геофизические Системы Данных»

Главной целью проводимых компанией ООО «ГГС- Хазар» работ, является поиск и картирование нефтегазоперспективных структур на шельфах России.

Другой целью, проводимых геофизических исследований, является сбор геолого-геофизических данных для изучения инженерно-геологических условий и физико-механических свойств грунтов в месте предполагаемого строительства разведочной скважины для обеспечения надежного прогноза геолого-технических условий выбранных под нефтегазоперспективное бурение участков шельфовых морей России.

При этом, среди применяемых компанией геолого- геофизических методов исследования, главным по информативности является сейсморазведка отраженных волн МОГТ на основе как продольных, так и поперечных волн [1].

Сейсморазведочные работы МОВ ОГТ 2D-4C и 3D-4C проводится по технологии раскладки донного кабеля Sea Ray (CGG) или «СИ Технолоджи» (XZone® Marsh Line) на дно акватории по заранее рассчитанным линиям приёма в соответствии с утверждённым проектом работ. Со специализированных транспортных средств (Хазар 1, 2) на профилях производится раскладка донного кабеля. Необходимая точность привязки осуществляется с помощью навигационной спутниковой системы DGPS и системой автоматизированного позиционирования пунктов приёма в момент раскладки на дно акватории. Независимый контроль позиционирования осуществляется акустической системой TZ OBC Sonardyne. Судно-акустик проходит вдоль приемных профилей на расстоянии 15-20 метров (в зависимости от глубины моря) посылая и принимая акустические сигналы с транспондеров на косах.

По окончании отстрела формируется и проверяется SPS-S файл, полевой материал проходит процедуру экспресс - обработки и контроля качества, после чего формируется новый участок профиля.

Сейсморазведочные работы МОГТ ВРС проводятся с целью детального изучения строения геологического разреза до глубин 600-700 м и обнаружения потенциальных опасностей для глубокого бурения, включая присутствие газовых «карманов», погребенных врез, тектонических нарушений и др.

Работы выполняются на площадках размером 3×3 км или 5х5 км по сети ортогональных профилей. Расстояние между профилями в субмеридиональном направлении составляет 100 м (в центре площадке сгущение до 50 м), а в субширотном направлении – 200 м, также со сгущением до 50 м в центре.

Сейсморазведочное оборудование, используемое при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-ВРС.

Морские сейсморазведочные работы проводятся с использованием буксируемой плавающей сейсмической косы и фланговой системы наблюдений. В начале работ с судна спускался на воду концевой буй с нейлоновым ропом – слабиной длиной 105 м. К слабине

присоединялась сейсмокоса с активной частью длиной 600 м. После спуска сейсмокоса заглублялась на рабочую глубину 2-3 м.

Контроль над заглублением и направлением косы проводится при помощи датчиков глубины и магнитных компасов, встроенных в приборы динамического позиционирования косы – DigiCourse.

В качестве рабочего контроллера пневмоисточников использовался пульт РГК-4. Весь процесс работ на профиле автоматизирован и осуществляется по команде бортового навигационного комплекса.

Обработка и интерпретация. На сегодняшний день многоволновая сейсморазведка занимает свою обособленную нишу на мировом рынке геофизических услуг. С ее помощью решается целый спектр проблем, которые невозможно решить посредством «классической» сейсморазведки на базе только продольных волн.

Из всех существующих методов многоволновой сейсморазведки наиболее широкое распространение получил метод, использующий отраженные обменные волны. Практика показывает, что с точки зрения сокращения временных и экономических затрат на выполнение работ его применение наиболее целесообразно для решения большинства поставленных геологических задач, в первую очередь нефтегазопроисловых, а также инженерно- геологических. [2-4].

На примере реальных сейсмических и скважинных данных, на основе скоростей  $V_p$  и  $V_s$ , полученных из данных ВСП и МАК и плотностей отложений по стволу скважины (кern, ГГКП) вычисляется полный набор упругих параметров ( $\gamma$ ,  $\sigma$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\beta$ ,  $E$ ,  $K$ ) и их производные, трансформируемые на основе аналитических связей с реальными характеристиками отложений в графики прогнозной пористости, глинистости и относительной меры проницаемости. Коэффициенты корреляции выявленных связей достаточно высоки. Показаны примеры прогнозирования УВ- насыщенности разреза на основе параметров Гамма и коэффициента Пуассона.

### **Список литературы**

1. Исмагилов Д.Ф., Козлов В.Н., Терехов А.А., Хортов А.В. «Опыт работ ВРС на акваториях южных морей Российской Федерации». //Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений». -2005, №11.
2. Кузнецов В.М., Шехтман Г.А., Череповский А.В.. Методика наблюдений в многоволновой сейсморазведке. //Технологии сейсморазведки, № 2, 2013, с. 37–59.
3. Кузнецов В.М. От геологической задачи к конструированию методики МВС // Приборы и системы разведочной геофизики. 2003. № 3. С. 31–35.
4. Шехтман Г.А. и др. Расширение типов волн, используемых в сейсморазведке: предпосылки и результаты.//Технологии сейсморазведки, 2006, 3, 30-34.

## **Подводный грязевой вулканизм и гидратоносность озера Байкал.**

**Хлыстов О.М.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Улан-Баторская, 3, Иркутск, 664033, Российская Федерация*

Подводные грязевые вулканы на Байкале открыты в ходе поиска и изучения газовых гидратов. Байкальский грязевой вулканизм непосредственно связан с изменениями нижней границы стабильности гидратов озера. Благодаря современным геофизическим изысканиям на Байкале с 2000 по 2016 гг. открыто 44 гидратоносные подводные структуры на глубинах от 1500 м до 400 м, которые расположены в равнинных или склоновых частях южной и средней котловин озера. Они привязаны к зонам миграции газосодержащих флюидов и выявляются непосредственно над их очагами через крупные разломы, либо обнаруживаются в стороне от них по проницаемым слоям от центра к бортам впадин.

Скопления газовых гидратов в грязевых вулканах, гидратных холмах, метановых сипах и покмарке представлены монолитными или слоистыми гидратами биогенного метана структуры I разной мощности и текстуры. Гидраты структуры II образованы за счет примеси (более 10 %) термогенного этана в виде гранул. Гидраты в кернах из грязевых вулканов обнаружены только в интервалах с грязевулканической брекчией, состоящей из мягкой глинистой матрицы и более плотных и сухих глинистых включений, привнесенных из нижележащих горизонтов. В других типах структур они выявлены в различных типах осадков. Визуальные наблюдения с помощью глубоководных обитаемых аппаратов «МИР» показали наличие выходов газовых гидратов на границе раздела «дно-вода» в сипах, что способствовало открытию двух новых сипов.

Разнообразие форм и типов гидратоносных структур и газовых гидратов в легкодоступных районах озера Байкал делает его природной лабораторией для изучения гидратов разными специалистами и аудиторией для обучения аспирантов и магистрантов. Подтверждением этому являются ежегодные научно-образовательные проекты МНР и Class@Baikal, проводимые Технологическим институтом г. Китами и Геологическим факультетом МГУ совместно с Лимнологическим институтом СО РАН.

## **Морская геофизика на геологическом факультете МГУ: наука, люди, экспедиции.**

**Гайнанов Валерий Гарифьянович**

*Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова*

Развитие морской геофизики на геологическом факультете МГУ можно разделить на 4 этапа.

### **Первый этап – морские гравиметрические и гидромагнитные исследования**

Морские гравиметрические работы на кафедре геофизических методов исследования земной коры под руководством В.В. Федынского начались с 1949 года. Сначала работы проводились на Каспийском море, а с 1951 года вышли на акваторию Мирового океана. В 1951-54 гг. на судне «Витязь» ИО АН СССР были выполнены маятниковые измерения в северо-западной части Тихого океана, в 1954-55 гг. – на танкере «Апшерон» и китобазе «Слава» - в Атлантических водах.

Осенью 1955 года стартовала 1-я Советская Антарктическая экспедиция на дизель-электроходе «Обь». На борту была группа гравиметристов из кафедры геофизики геологического факультета и ГАИШа МГУ.

В дальнейшем морские гравиметрические исследования продолжились в составе экспедиций в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах на борту судов «Лена», «Академик Курчатов», «Ломоносов», «Московский университет», «Академик Петровский» и др. Работы проводились совместно с ГАИШ МГУ, ЦНИИГАиК, ВСЕГЕИ, ИФЗ АН СССР, ИО АН СССР, НПО «Севморгеология», «Южморгеология». Результаты этих исследований позволили построить карты земной коры и литосферы для больших территорий океанов. В этих работах в разное время участвовали А.Г. Гайнанов, В.Л. Пантелеев, П.А. Строев, С.А. Ушаков, В.Р.Мелихов, А.А.Булычев, Д.А.Гилод, М.Г.Попов, М.Б.Лейбов, Л.П. Полякова, А.М. Шамаро и др.

Гидромагнитные исследования начались в 1964 году на акватории Черного моря, когда появились первые модели протонного гидромагнитометра.

### **Второй этап – начало сейсмоакустических исследований на акваториях**

Новое направление морских геофизических исследований на геологическом факультете появилось в 1961 году с созданием под руководством А.В.Калинина лаборатории сейсмоакустики для разработки метода непрерывного сейсмоакустического профилирования на акваториях (НСП). Группа молодых, талантливых и активных исследователей, куда изначально входили В.В.Калинин, А.С.Левин, Ш.А. Азими, Б.Л.Пивоваров, М.Х.Фаталиев, занялась созданием аппаратуры и методики сейсмоакустических исследований на акваториях с использованием электроискрового источника упругих волн и плавучих пьезокос в качестве приемников.

В то время к разработке сейсмического метода исследования для решения инженерных задач на акваториях пытались применить 2 подхода: 1) усовершенствовать существующие эхолоты так, чтобы излучаемый сигнал проникал и в толщу осадков (Дубров и др.); 2) используя принципы эхолокации создать новый низкочастотный источник и новую приемную систему – по существу новый метод. Оказался наиболее перспективным электроискровой источник.

Первые производственные работы по инженерной геофизике проводились на акватории строящегося Ильичевского порта по заказу СоюзморНИИПроект.

За период с 1962 по 1983 годы сейсмоакустические исследования охватили Черное, Белое, Средиземное, Балтийское, Каспийское, Баренцево, Чукотское, Охотское и Берингово моря, Индийский, Атлантический и Тихий океаны, озеро Байкал, Сарезское озеро, реки Волгу, Обь, Амур, Южный Буг, Москву.

В работы включились новые сотрудники, аспиранты и студенты: В.А. Стручков, Л. Ванякин, В.Г. Гайнанов, Л.М. Кульницкий, Н.В. Шалаева, А.В. Старовойтов, Н.А. Девдариани и др.

Спустя недолгое время лаборатория стала теоретическим и практическим центром сейсмоакустических исследований в СССР. Эти разработки были отмечены в 1968 г. Премией Ленинского комсомола, присужденной А.В. и В.В. Калининим.

Много экспедиций состоялось на борту судна «Московский университет» по Черному морю, где с 1970 года была организована также ежегодная учебная морская практика для студентов-геофизиков.

### **Третий этап – экспедиции «Плавучий университет»**

начинается с 1990 года, когда по инициативе доцента кафедры горючих ископаемых М.К. Иванова стали организовываться международные учебно-научные геолого-геофизические экспедиции под эгидой ЮНЕСКО.

В этих экспедициях использовался широкий комплекс геофизических и геологических методов: гравиметрия, сейсмические и акустические профилирования, глубоководные аппараты, пробоотбор осадков с различными трубками и пробоотборниками, лабораторные исследования осадков. Первый пробный рейс был на НИС «Академик Петровский», затем на судах «Геленджик» и «Профессор Логачев». В 2011 году экспедиция состоялась на борту НИС «Академик Страхов» в Баренцево море.

Девиз этого проекта – «Обучение через исследование» подразумевало участие в экспедициях известных, а также и молодых ученых с разных стран, преподавателей, аспирантов и студентов. За 25 лет существования проекта немало студентов смогли по настоящему ознакомиться с методами морской геологии и геофизики и впоследствии стали настоящими учеными, сделаны открытия новых грязевых вулканов на дне Черного и Средиземного морей, Атлантического океана, Норвежского моря, изучены подводные конуса выноса рек Дуная, Роны, карбонатные горки в северной части Атлантического океана и многое другое.

### **Четвертый этап – морские геолого-геофизические работы на Белом море**

Организовываются с начала 2000-х годов по инициативе М.Ю. Токарева, и включают ежегодную учебную практику для студентов-геофизиков и геологов, а также экспериментальные работы по испытанию новой техники и методик для морских геофизических и геологических исследований.

Многие годы базой этих работ является Беломорская биологическая станция МГУ, и исследования проводились с борта принадлежащих станции судов. В последние годы большинство работ проводится с борта специально построенного по инициативе М.Ю. Токарева судна «Студент МГУ».

### **Список литературы**

1. *Гайнанов А. Г., Калинин А. В., Мелихов В. Р.* Морская геофизика на геологическом факультете за 40 лет // Вестн. Моск. Ун-та, сер.4, геология, 1984, N2, МГУ, М.,. — 1984. — С. 10–20.
2. Геологический альманах. К 250-летию Московского университета. 2003. МГУ.
3. *А.Е. Сузюмов.* К истории программы «Плавающий университет» (Training trough Research) памяти Михаила Иванова посвящается. 2012.

## **«Балтийский плавучий университет» (БПУ) и его предыстория в ЛГМИ/РГГМУ в 60–80е годы XX в.**

**Сычев Виталий Иванович**

*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург*

С 1993 г. в рамках «Плавучего Университета» опыт инициативы «Обучение через исследования» был внедрен в четырех региональных отделениях, в том числе в мае 1993 г. в Штаб-квартире ЮНЕСКО было предложено расширить инициативу для региона Балтийского и Белого морей как «Балтийский плавучий университет». [Suzyumov, 2015]

Через 4 месяца состоялся первый рейс БПУ, который опирался на опыт и помощь инициаторов программы МГУ и ее координатора из ЮНЕСКО А.Е.Сузюмова. Цикл «Балтийского плавучего университета» состоял из разделов, апробированных в МГУ в первые годы «Обучения через исследования». Организационный период БПУ был коротким – всего несколько месяцев, так как проект опирался на большой опыт сотрудников и преподавателей РГГМУ, приобретенный в ходе проведения экспедиционных работ с участием студентов-океанологов. [Sytchev, 1994, Sytchev et al., 1994]

Первый рейс БПУ состоялся в июле 1993 г. – студенты на борту ГИС «Персей» и парусного катамарана «Центаурус-II» при сотрудничестве с финскими коллегами открыли новую страницу инициативы ЮНЕСКО «Обучения через исследования». Во время рейсов студенты слушали курс лекций по основам океанологии, метеорологии, новым методам обработки и усвоения информации, применения спутниковых данных. [Sytchev et al., 1995] С 1993 г. и по настоящее время в РГГМУ читается курс по обработке спутниковой информации, основы которого были заложены при реализации инициативы «Глобальный факультет» и программы ЮНЕСКО-Билко во время экспедиционных работ БПУ на борту экспедиционных судов [Сычев, 1999, 2013, Сычев, Эдвардс, 2004, Sychev et al. 2005]. Приобретенные практические знания, умения и навыки научной работы позволили подготовить квалифицированные и востребованные на рынке труда кадры, нашедшие применение в государственных структурах и бизнесе. Например, в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) работают десятки специалистов высокого уровня, прошедшие школу научной работы во время экспедиций БПУ, а Никита Куссе-Тюз и Владимир Николаев спустя три года после окончания РГГМУ были самыми молодыми участниками дрейфующей станции «Северный полюс-40».

Первые экспедиции при участии студентов ЛГМИ состоялись еще в конце 50-х годов на борту ЭС «Батайск». В них вместе со студентами-океанологами из МГУ, ЛГУ и других вузов страны принимали участие многие студенты и преподаватели ЛГМИ. Полученные во время экспедиций результаты использовались при подготовке курсовых и дипломных работ студентов океанологов.

В 1965 г. на баланс ЛГМИ было передано научно-исследовательское судно «Нерей», старшим помощником капитана был приглашен известный писатель-маринист В.В.Конецкий. В мае-июне следующего года состоялся первый рейс «Нерея» из Ленинграда в Сухуми по Неве, Свири, Ладожскому и Онежскому озерам, Волго-Балтийскому каналу, Волге, Волго-Донскому каналу, Дону, Азовскому и Черному морям со студентами-третьекурсниками. Во время этого незабываемого перехода студенты выполняли комплекс гидрометеорологических наблюдений, участвовали в корабельных работах. Летом 1966 г.



пять студентов второго и третьего курсов, получившие сертификаты аквалангистов-подводников и специалистов подводной фото- и киносъемки участвовали в подготовке и испытании первого из серии обитаемых подводных лабораторий «Садко», который вместе с подводным домом «Ихтиандр» был первым в нашей стране. Во второй и третьем варианте аппарата «Садко» полноправными участниками подводных спусков были студенты старших курсов. В 1967 г. встретились океанологи ЛГМИ и члены команды Ж.-И. Кусто Жан Алина, Жан-Клод Дюма и Ив Боске. В результате была согласована программа совместных работ в районе Лионского залива с использованием французского подводного аппарата «Прекоинтермент-IV» и обеспечивающего судна ЛГМИ «Нерей». К сожалению, политическая обстановка к концу 1968 г. не позволила реализовать подготовленный проект.



Рис. 1. «Нерей» в порту Берген, октябрь 1968 г.

Начиная с 1968 г., летом «Нерей» принимал студентов для учебных практик, а в остальное время года выполнял научно-исследовательские работы в северной части Атлантического океана и в Балтийском море. Уже после первых рейсов «Нерея» некоторые студенты старших курсов могли работать штатными инженерами и научными сотрудниками, ассистируя преподавателям во время экспедиционных работ. В первом атлантическом рейсе «Нерея» в 1968 г. руководителем экспедиции был кандидат географических наук К.К.Дерюгин, сын известного ученого гидробиолога К.М.Дерюгина, один из инициаторов создания океанологического факультета ЛГМИ, впоследствии зав. кафедрой. Во время захода в Берген студенты побывали в местном университете и Морском музее. Получили в подарок стеклянный баллон с нормальной водой, запаянный в конце XIX века в лаборатории Мартина Кнудсена в Копенгагене.

Руководителями и участниками второй экспедиции были известные ученые, в том числе одни из первых отечественных акванавтов и подводных исследователей, участники работ на

подводных домах «Садко» В.Беззаботнов и В.Грищенко, а практикантами принимали участие Л.Карлин (ректор ЛГМИ/РГГМУ в 1987-2014 гг.) и А.Данилов (зам. директора ААНИИ в 1998-2016 гг.).

Заложенные в первые годы традиции развивались во время научно-исследовательских работ на парусных катамаранах «Ориентс» и «Центаурус» в 70–80-е годы XX века, в том числе при изучении возможностей марикультуры в Финском и Рижском заливах. Более половины экспедиционного состава катамаранов составляли студенты, а полученные результаты становились основой для их дипломных работ, научных отчетов и публикаций. Разделы подводных работ сохранились и в практике БПУ, когда с борта парусного катамарана «Центаурус-II» при сотрудничестве с финскими коллегами в течение ряда лет выполнялись подводные и гидробиологические работы в районе архипелага Суоменлинна у Хельсинки. [Сычев, 2010]

В конце 70-х годов XX века приобретенный опыт использовался в Гвинейской республике, где преподавали пять специалистов ЛГМИ. Автор статьи в 1977–1979 гг. возглавлял подготовку студентов–океанологов в Конакрийском политехническом университете, а в 1982–1983 гг. работал руководителем отдела океанографии в Научно-исследовательском Центре по океанографии в Конакри (СЕРЕСКОР). С группой сотрудников отдела руководил научно-исследовательскими работами студентов и молодых африканских специалистов в восточной части тропической Атлантики на экспедиционных судах «Михаил Ломоносов» и «Академик Вернадский». Для них во время рейсов были организованы лекции и проводились практические занятия. Полученные результаты использовались в учебном процессе, при подготовке дипломных и диссертационных работ. В рамках продолжавшегося сотрудничества в качестве члена Ученого Совета СЕРЕСКОР (Гвинейская Республика) в 2012-2014 гг. читал лекции и руководил работами слушателей во время занятий Школы повышения квалификации в Конакри.

В 1981 г. ЛГМИ получил научно-исследовательское судно «Профессор Сергей Дорофеев», который продолжил традиции экспедиционных работ при участии студентов. Во время переоборудования нового судна в 1983 г. летние работы в Финском заливе проводились с борта парусно-моторной шхуны «Ленинград» под командой легендарного капитана Ивана Петровича Матвеева, первого заслуженного мастера спорта в парусном спорте в стране, лучшего ленинградского яхтсмена всех времен, капитана сборной СССР и рулевого в классе «Дракон» на Олимпийских играх в Хельсинки и в Мельбурне.

В трудные 90-е годы «Профессор Сергей Дорофеев» зарабатывал средства на свое содержание, поэтому в ЛГМУ изыскивались пути для организации экспедиций для студентов под руководством преподавателей. В мае 1993г. автор статьи был принят в Штаб-квартире ЮНЕСКО координатором программы из ЮНЕСКО А.Е.Сузюмовым и руководителем отдела Дирком Трустом, которые внимательно выслушали рассказ об опыте ЛГМИ при обучении и практической подготовке студентов-океанологов. В этот непростой период для программы «Обучение через исследования» на встрече было решено расширить инициативу для региона Балтийского и Белого морей как «Балтийский плавучий университет». Эта встреча стала поворотным событием в распространения опыта инициативы в качестве БПУ.

В настоящее время РГГМУ поддерживает ряд инициатив в регионе Балтийского моря во время рейсов парусного катамарана «Центаурус-II». Реализован проект «eMaris» ТЕМПУС с использованием опыта подготовки кадров университетами Европейского Союза. о чем

докладывалось на III и IV международных научно-практических конференциях «Морские исследования и образование» в 2014 и 2015 гг.

### **Список литературы**

Suzyumov, Alexei. Training through research program and its floating university facility. Труды IV Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)», 19-24 октября 2015 г. – Москва: Феория, 2015. сс. 26-28.

Sytchev V.I. 1994/1995 Plans for Baltic. // UNESCO IMS Newsletter, 1994, N 69-70. p.13.

V.Sytchev, R.T.Coon, A.Nekrasov, A.Suzyumov, P.Tulkki. Baltic Floating University: A Facility of the UNESCO «Floating University» Project. Helsinki, 1995. 22 p.

V. Sytchev, R.T. Coon, A. Nekrasov, A. Suzyumov, P. Tulkki. Baltic Floating University Research Bulletin. March 1995, Helsinki, 1995. 30 p.

Sytchev V.I., Karlin L.N. Gulf of Finland coastal management studies // UNESCO IMS Newsletter N 72, 1994. p.3.

Sytchev V.I., Karlin L.N., Nekrasov A.V. Implementation of «UNESCO Floating University» Programme in the Gulf of Finland. // – First Study Conference on BALTEX, Visby Aug. 28 - Sept. 1, 1995, Conference Proceeding, SMHI, Norrkoping, Sweden. p.105.

Sytchev V.I., Nekrasov A.V. UNESCO Baltic Floating University: Training through research for better marine science. // WWF Baltic Bulletin, 1994, N 5. pp. 19-20.

V.Sytchev, D.Troost, A.J. Edwards, and others. Introduction to the Computer-based Learning Modules. // В кн. «Applications of Satellite and Airborne Image Data to Coastal Management – 7th Computer-based Learning Module (Third Edition. Revised and Expanded for Bilko 3)», ed. A.J. Edwards, 2005. pp. 1-5.

Сычев В.И. Двадцать лет использования в России материалов ЮНЕСКО/БИЛКО при обучении в области дистанционного зондирования океана и прибрежных регионов. // Применение космических технологий для развития арктических регионов. Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции с международным участием (Архангельск, 17–19 сентября 2013 года), Архангельск, ИПЦ САФУ. 2013. сс.352-353.

Сычев В.И. Компьютерные модули ЮНЕСКО по дистанционному обучению в области использования спутниковых данных. // – Материалы II межрегиональной научно-практической конференции «Дистанционное обучение. Проблемы и перспективы взаимодействия вузов Санкт-Петербурга с регионами России», – СПб.: 1999. сс.37-39.

Сычев В.И., Эдвардс А.Д. Введение в программное обеспечение для обработки спутниковых изображений. Краткое руководство пользователя и примеры практического использования программных продуктов ЮНЕСКО – СПб.–ЮНЕСКО: 2004. 96с.

Сычев В.И. Море, Космос и подводные дома. // Предельная глубина. М.: №6. 2010. сс.78-86.

## **Разработка технологии картографирования подводных ландшафтов.**

**Терёхина Яна Евгеньевна<sup>1</sup>, Исаченко Артем Игоревич<sup>2</sup>, Барымова Александра Андреевна<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова*

<sup>2</sup>*ООО «Арктический Научный Центр»*

<sup>3</sup>*ООО «Центр морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова»*

Изучение и освоение природных ресурсов Мирового океана тесно связано с ландшафтными исследованиями и картографированием подводным ландшафтов. История развития теоретических основ подводного ландшафтоведения и технологий исследования субаквальных ландшафтов кратко описана в работе М.В. Пенно (Пенно, 2014).

Большой вклад в решение одной из ключевых проблем рассматриваемого научного направления - классификации подводных ландшафтов - в последние годы внесли Б.В. Преображенский, В.В. Жариков, Л.В. Дубейковский, Н.Н. Митина, Е.В. Чуприна (Митина, Чуприна, 2012; Преображенский, Жариков, Дубейковский, 2000). В качестве основных классификационных признаков компонентов ландшафтов выбраны следующие показатели - берега, рельеф дна, гранулометрический состав грунта, гидрологические, гидродинамические и гидрохимические параметры водных масс, фито- и зоопланктон, бентосные сообщества, распределение ценных промысловых видов рыб (осетровые) и беспозвоночных, основные загрязняющие вещества.

Параллельно с развитием теоретической базы подводного ландшафтоведения, идет быстрый процесс развития и внедрения в практику морских научных исследований новых методов и средств.

Применение геофизических методов для картографирования и изучения структуры донных сообществ началось уже в послевоенное время, в 1940-х годах. К этому же времени относятся первые опыты комплексного физико-географического районирования морей и океанов. Первые работы по практическому применению гидролокации бокового обзора (ГЛБО) в бентосных исследованиях были начаты в СССР в конце 1970-х годов, но получили широкое применение только с середины 1990-х годов. По мере совершенствования одного из основных методов исследования подводных ландшафтов - гидролокации бокового обзора (ГЛБО) «стало возможным получать сонограммы практически фотографического качества» (Илюшин, Исаченко, Шабалин, Мокиевский, 2014).

В начале 90-х годов актуальным стало решение методами гидроакустики прикладных задач на шельфе. В связи с освоением углеводородных ресурсов выполняются инженерно-геологические, инженерно-гидрографические и поисковые работы на мелководье, мониторинг подводных потенциально опасных объектов, исследования русловых процессов, осложняющих прибрежную геологическую обстановку. Появление в середине последнего десятилетия XX века систем спутникового позиционирования GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия) и цифровой записи акустических сигналов, новых компьютерных программ для обработки данных ускорили применение ГЛБО для картирования донных сообществ.

Активно ведутся работы по картографированию природных объектов и за рубежом (Жариков, 2011). В значительной степени они были инициированы Конвенцией по биоразнообразию и соответствующими национальными директивами (Россия подписала Конвенцию в 2003 г.). Возникнув как приложение к локальным и региональным съемкам мелководий морей для систематизации условий среды и ассоциированных комплексов

морских организмов, они на сегодняшний день сформировались в самостоятельную область исследований – картографирование морских местообитаний (Marine Habitat Mapping).

Новый этап развития рассматриваемой науки характеризуется появлением новых научных направлений и дисциплин, разработкой и применением новых методов в исследовании и картографировании морских ландшафтов, широким использованием методов математического моделирования, цифрового моделирования рельефа и ГИС моделирования донных ландшафтов.

В настоящее время, как будет показано ниже, для изучения различных элементов подводных ландшафтов (донные осадки, рельеф, морские воды, гидробионты) все шире используются, помимо технических средств традиционных океанологических исследований, многолучевые эхолоты (МЭ), ГЛБО, параметрические эхолоты-профилографы, оснащенные поддонным профилографом, телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА).

Общей целью научно-исследовательского проекта "Разработка технологии картографирования подводных ландшафтов", выполняемого по заказу ООО «Арктический Научный Центр», является разработка программных средств и методических рекомендаций к комплексному картографированию бентосных сообществ и элементов подводного ландшафта с использованием данных гидролокации бокового обзора (ГЛБО), многолучевого эхолотирования (МЛЭ) и точечного отбора проб в условиях арктических морей в диапазоне глубин 10-50 м. Район исследований расположен в акватории Белого моря, в районе Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ имени М.В. Ломоносова.

Для решения поставленных задач в июле-сентябре 2016 года выполнены следующие виды работ:

1. батиметрическая съемка многолучевым эхолотом (МЛЭ);
2. гидролокация бокового обзора (ГЛБО), с использованием гидролокаторов с различными частотными характеристиками;
3. непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), с использованием высокочастотного профилографа;
4. съемка телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом (ТНПА);
5. дночерпательная съемка и апробирование донных грунтов.

Данная работа описывает предварительные результаты наблюдений многолучевым эхолотом и гидролокатором бокового обзора.

Пролив Великая Салма – отделяет от материка о. Великий (Кандалакшский залив Белого моря); пролив имеет длину 25 км при ширине от 0,6 до 8 км (Рисунок 1). Глубины в Великой Салме варьируют от 0 до 120 м. Вдоль северного берега пролива (южное побережье острова Великий) протягивается узкая субгоризонтальная поверхность подводного берегового склона, сменяющаяся крутым ступенчатым склоном. Южная часть пролива сформирована цепочками шхерных островов и подводных банок с крутыми склонами. Для Великой Салмы характерно большое разнообразие рельефа дна, сильный летний прогрев верхних слоев воды и мелководий при сохранении отрицательной температуры на глубинах ниже 75 м, слабые колебания солености, значительные приливо-отливные течения и разнообразные грунты.





Рис. 1. Схема района работ

По предварительным результатам было выделено 5 основных литолого-геоморфологических типов.

Участок 1. Тип рельефа: Грядобразная структурно-предопределенная выровненная денудационная поверхность на кристаллическом и ледниковом субстратах, осложненная зонами локальной маломощной нефелоидной седиментации. Тип осадка: Неровности кристаллического и ледникового рельефа, выполненные современными морскими тонкозернистыми осадками (алевропелитовыми микритами) мощностью более 1 м.

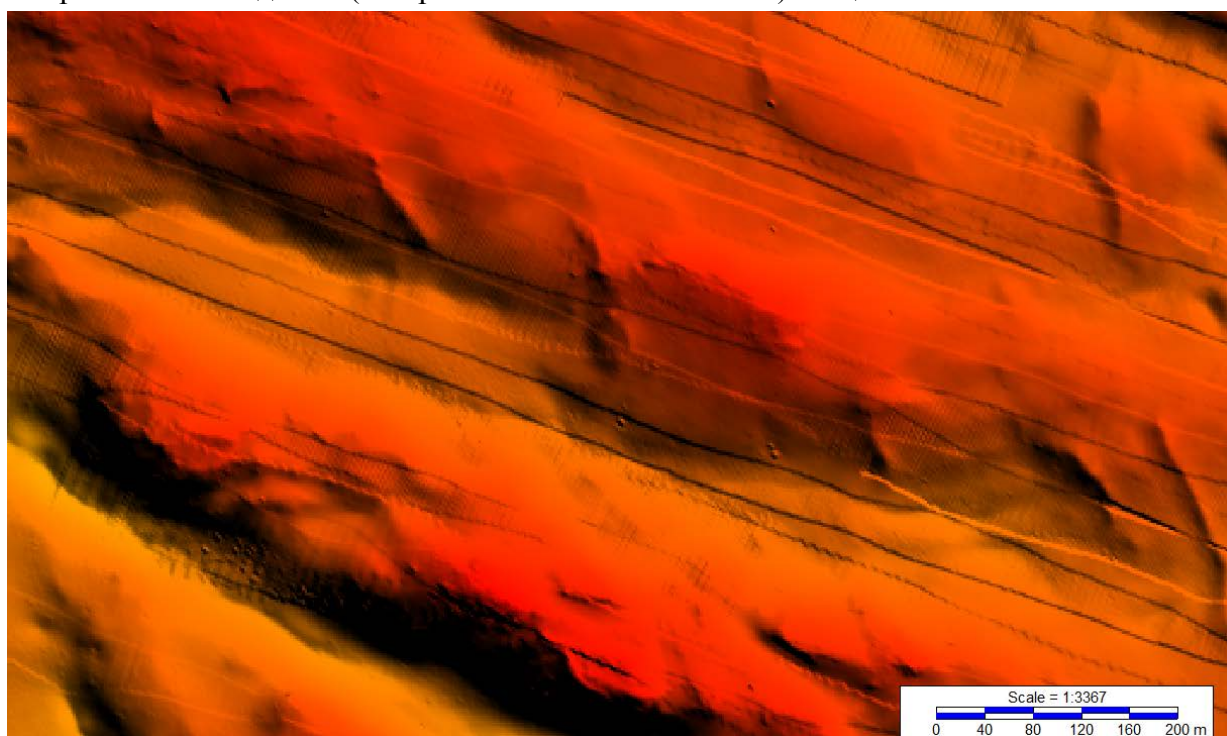


Рис. 2. Участок 1. Северный борт пролива Великая Салма. Структурные гряды, частично перекрытые ледниковыми отложениями, протягиваются вдоль склона. Фрагмент псевдотрехмерной теневой карты рельефа.



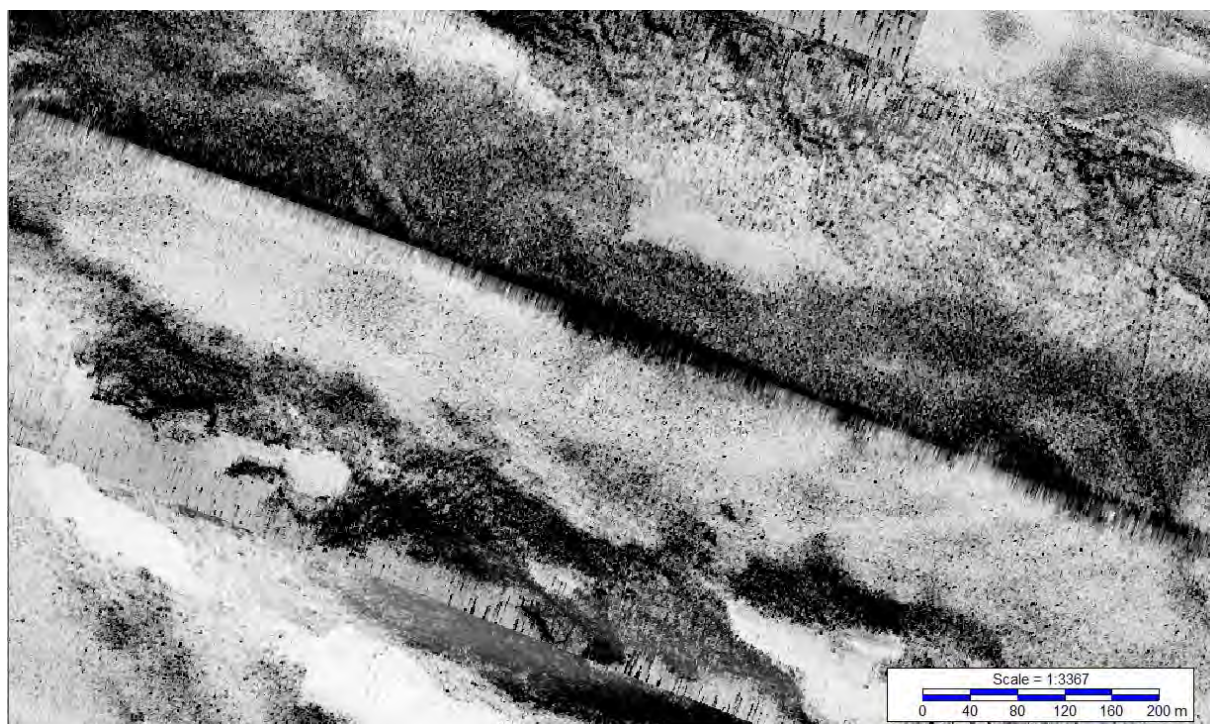


Рис. 3. Участок 1. Фрагмент мозаичного планшета ГЛБО.

Участок 2. Тип рельефа: Аккумулятивно-денудационная субгоризонтальная волнистая равнина, осложненная участками грядового ледникового рельефа. Тип осадка: Грубообломочный материал, местами пески разномерные с галькой и гравием. Слабовогнутые поверхности, сложенные песчано-галечными и гравийно-галечными отложениями.

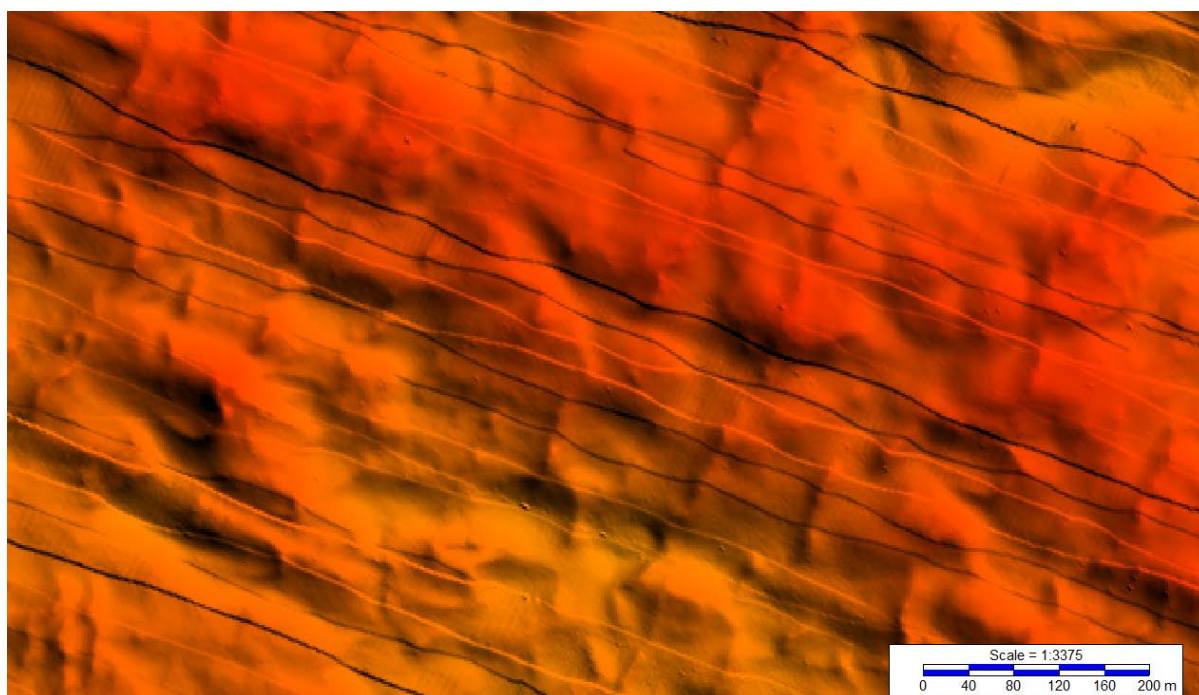


Рис. 4. Участок 2. Северный борт пролива Великая Салма. Относительно крутой склон осложнен субмеридианальными и субширотными структурными грядами относительной высотой 1-2 м. Выходы коренных пород свидетельствуют о преобладании на склоне процессов денудации (эрозия приливных течений). Фрагмент псевдотрехмерной теневой карты рельефа.



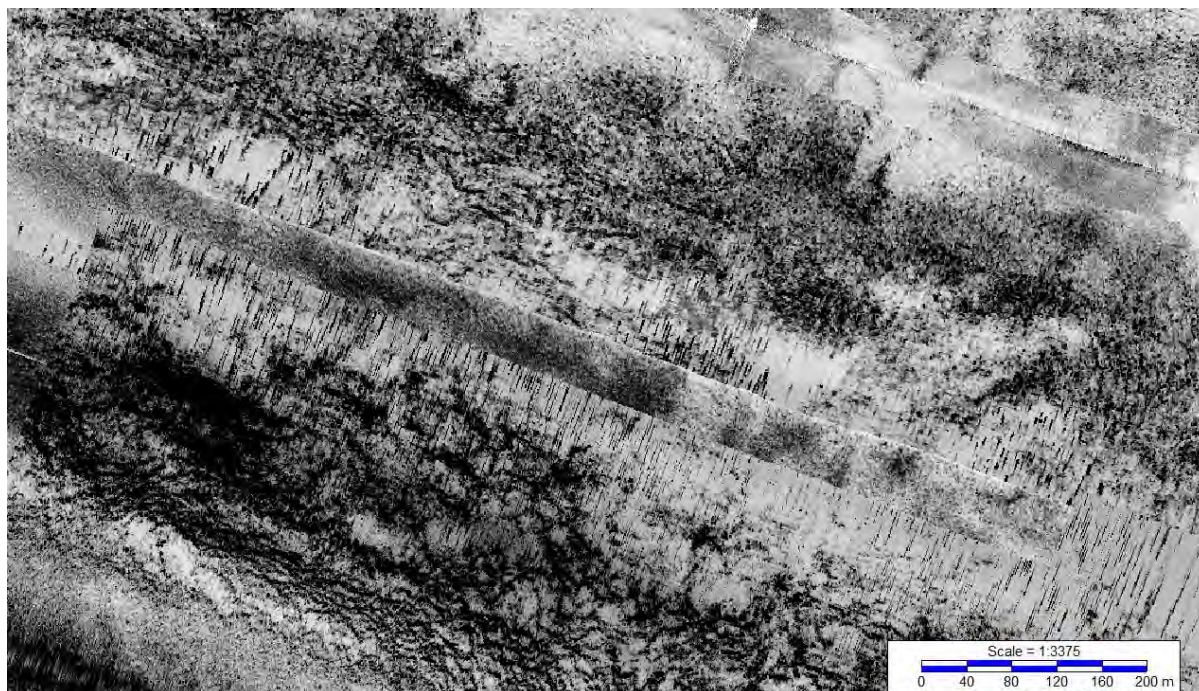


Рис. 5. Участок 2. Фрагмент мозаичного планшета ГЛБО.

Участок 3. Тип рельефа: Наклонная полого-ступенчатая равнина, осложненная участками холмисто-западинного и грядового ледникового рельефа. Тип осадка: Изометричные и слабовытянутые понижения в кровле ледникового рельефа, выполненные ледниково-морскими, и редко перекрывающими их голоценовыми песчано-пелитовыми отложениями.

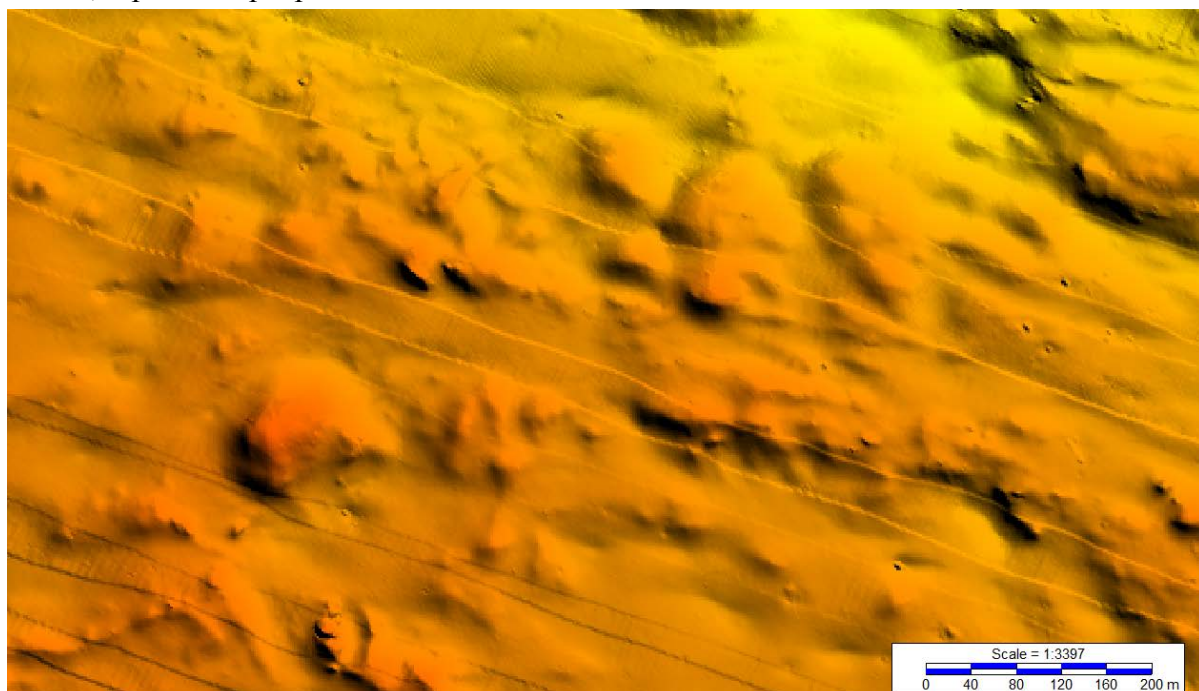


Рис. 6. Участок 3. Южный борт пролива Великая Салма. Наклонная полого-ступенчатая равнина на глубинах 40-50 м осложнена участками холмисто-западинного и мелко-грядового ледникового рельефа. Высота моренных холмов - 5-15 м. Фрагмент псевдотрехмерной теневой карты рельефа.



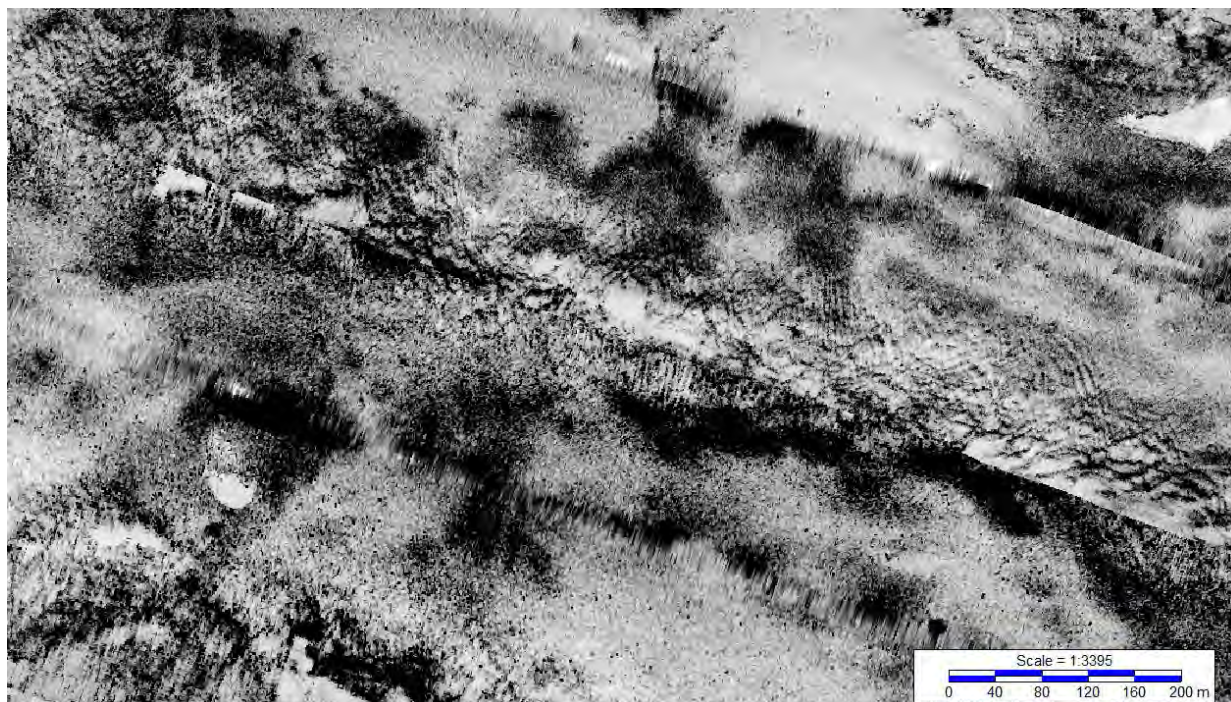


Рис. 7. Участок 3. Фрагмент мозаичного планшета ГЛБО.

Участок 4. Тип рельефа: Структурно-гравитационные ступенчатые склоны, осложненные зонами аккумулятивного выровненного рельефа на субгоризонтальных ступенях различного происхождения. Тип осадка: Смятые морские и ледниково-морские осадки.

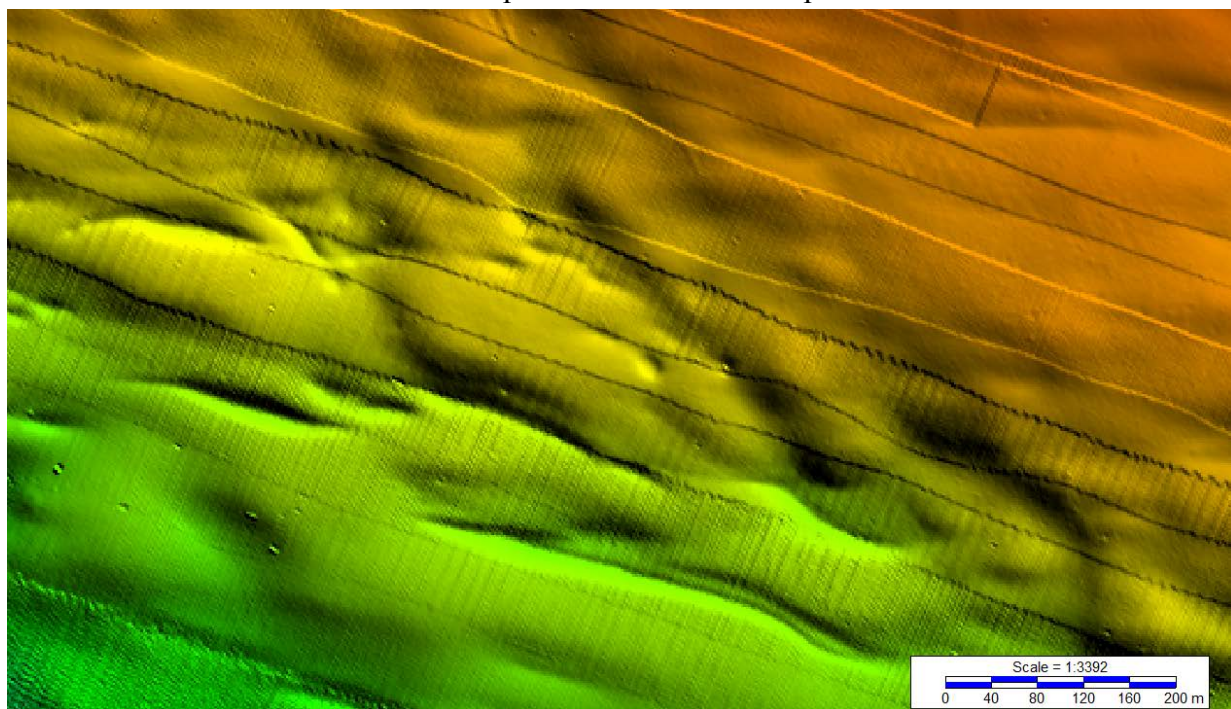


Рис. 8. Участок 4. Северный борт пролива Великая Салма. Относительно крутой склон осложнен телами оползней. Фрагмент псевдотрехмерной теневой карты рельефа.



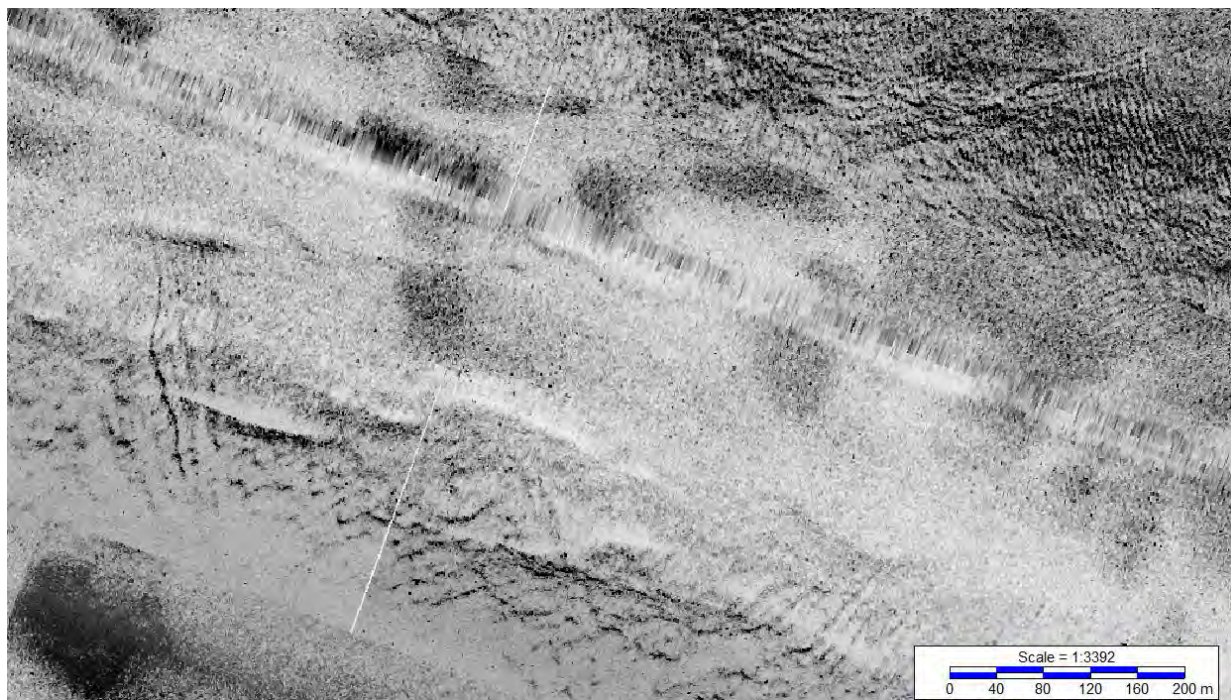


Рис. 9. Участок 4. Фрагмент мозаичного планшета ГЛБО.

Участок 5. Тип рельефа: Узкие эрозионные ложбины, возникшие на контакте уступов и локальных возвышенностей. Тип осадка: Смятые морские и ледниково-морские осадки.

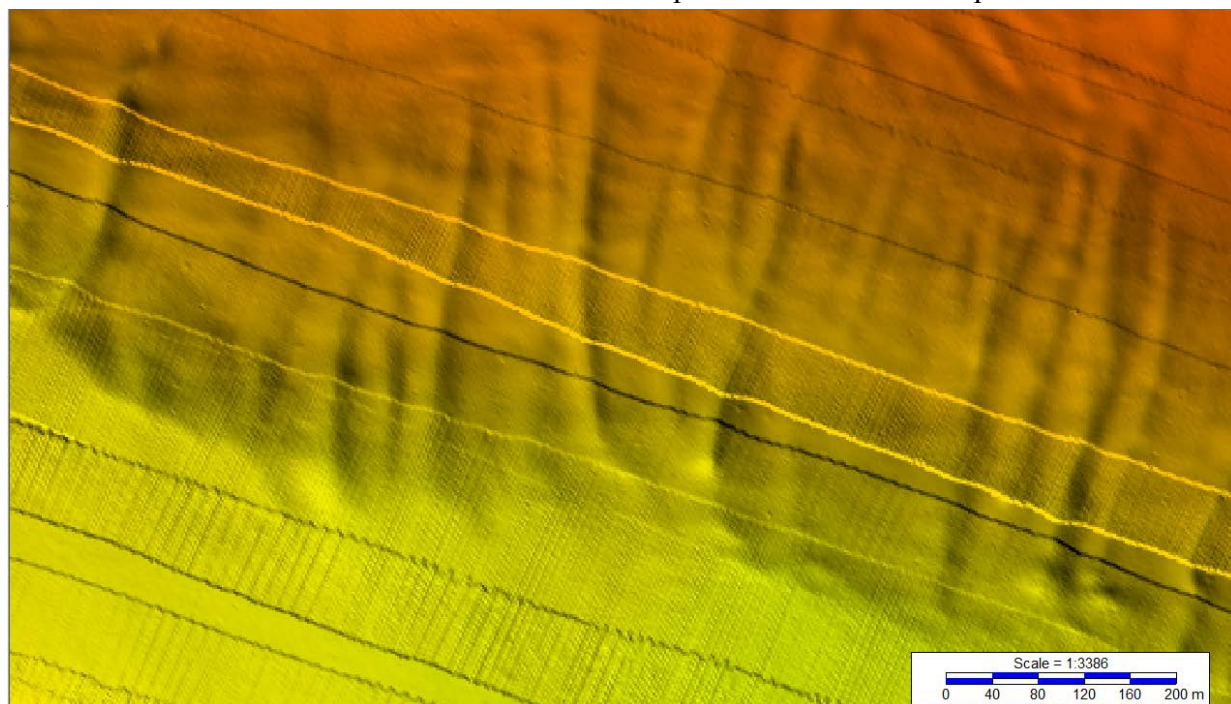


Рис. 10. Участок 5. Северный борт пролива Великая Салма. Крутой склон расчленен ложбинами гравитационного смещения относительно «мягких» осадков. На днищах ложбин отчетливо выражены зоны преимущественного выноса и аккумуляции наносов. Фрагмент псевдотрехмерной теневой карты рельефа.



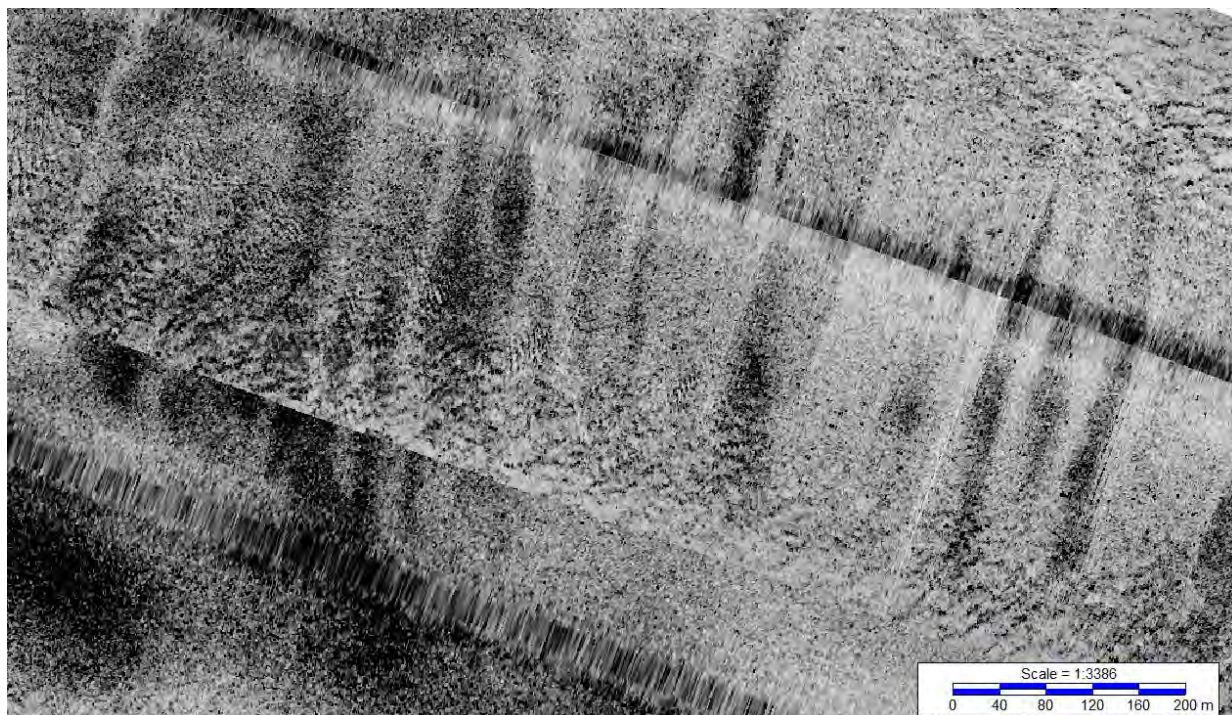


Рис. 11. Участок 5. Фрагмент мозаичного планшета ГЛБО.

**Список литературы:**

1. Пенно М.В. Развитие научных представлений о морских ландшафтах/ Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Том 10. Выпуск 1. С. 166-172.
2. Митина Н.Н., Чуприна Е.В. Подводные ландшафты Черного и Азовского морей: структура, гидроэкология, охрана. М., ФГУП «Типография» Россельхозакадемии, 2012. 320 с.
3. Преображенский Б.В., Жариков В.В., Дубейковский Л.В. Основы подводного ландшафтоведения (Управление морскими экосистемами). Владивосток: Дальнаука, 2000. 351 с.
4. Илюшин Д.Г., Исаченко А.И., Шабалин Н.В., Мокиевский В.О. Современные методы исследования донных сообществ/Инженерные изыскания. 2014. № 9-10. С. 98-104.
5. Жариков В.В., Преображенский Б.В., Лебедев А.М. Геоэкологическое состояние полигона дампинга грунта у острова Лисий (залив Находка) / Вестник ДВО РАН. 2011. № 2. С. 88-97.

## **Новые методы и подходы к анализу данных в гидробиологии.**

**Азовский Андрей Игоревич**

*Кафедра гидробиологии МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

В докладе дан краткий обзор основных тенденций в области анализа экологических и гидробиологических данных. Анализ публикаций в ведущих международных журналах за последние годы показывает следующие тенденции:

- заметное расширение методического арсенала;
- переход от одномерных к многомерным статистическим методам;
- предпочтение отдается ординационным процедурам перед методами классификации объектов;
- переход от линейных методов к нелинейным;
- переход от «классических» параметрических методов к непараметрическим;
- наряду с классическими статистиками, основанными на значениях переменных (value-based statistics) - все более широкое использование методов, основанных на различиях (distance-based statistics);
- переход от исследований описательного стиля к явной формулировке и строгой проверке гипотез, включая использование «нейтральных моделей» в качестве инструмента проверки нуль-гипотез.

Из более частных моментов можно отметить следующие. При анализе биоразнообразия наряду с традиционными показателями (число видов, индексы Шеннона, Симпсона и пр.) все шире используются меры, основанные на статистическом оценивании (ожидаемое число видов на стандартную выборку, оценки полного числа видов с учетом их редкости, экстраполяция кривых накопления видов, и пр.). Все шире применяются меры сходства и разнообразия, учитывающие степень таксономического или филогенетического родства, а также функциональные характеристики таксонов.

В области программного обеспечения, наблюдается переход от использования статистических пакетов общего назначения (Systat, Statistica и т.п.) к специализированным инструментам (PRIMER, PAST, SAM и др.), а также все более широкое использование R-программирования на основе открытых процедурных библиотек.

**Многолетняя (1934-2010) динамика ареалов макрозообентоса Керченского пролива.**

**Никита Валентович Кучерук<sup>1</sup> Дмитрий Яковлевич Фашук<sup>2</sup>, Александр Сергеевич Терентьев<sup>3</sup>, Наталия Владимировна Литвиненко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> - Институт океанологии РАН (ИО РАН), Москва

<sup>2</sup> - Институт географии РАН (ИГ РАН), Москва.

<sup>3</sup> - Южный НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии (ЮгНИРО), Крым, Керчь.

Первые исследования структуры и состояния популяций макрозообентоса Керченского пролива были начаты в середине 30-х гг. прошлого столетия. В 1934 г. В.П. Воробьев выделил в проливе **9 бентосных сообществ**: *Cerastoderma (Cardium) – Ampelisca – Corophium*, *Mytilus – Mytilaster – Amphibalanus improvisus*, *Cerastoderma glaucum – Polychaeta*, *Mytilus – Ascidiella*, *Chamelea gallina - Tapes rugatus - Cerastoderma glaucum*, *Gibbomodiola adriatica - Pitar rudis – Ascidiella*, *Ostrea edulis*, *Barnea candida* [Воробьев, 1934].

Через 20 лет – в 1955 г., К.И. Несис отметил существенные изменения в их структуре: сокращение вплоть до полного исчезновения одних биоценозов и расширение или появление новых. Так, площадь биоценоза мидии значительно сократился за счет интенсивного развития биоценоза *Cerastoderma – Ampelisca – Corophium*. Исчез биоценоз *Mytilus – Ascidiella* и большая часть биоценоза *Cerastoderma glaucum – Polychaeta*. На их месте возник биоценоз *Nephtys – Oligocheta* (рис.1) Причиной зафиксированных изменений автор считал осолонение Азовского моря в результате зарегулирования стока реки Дон [Несис, 1957].

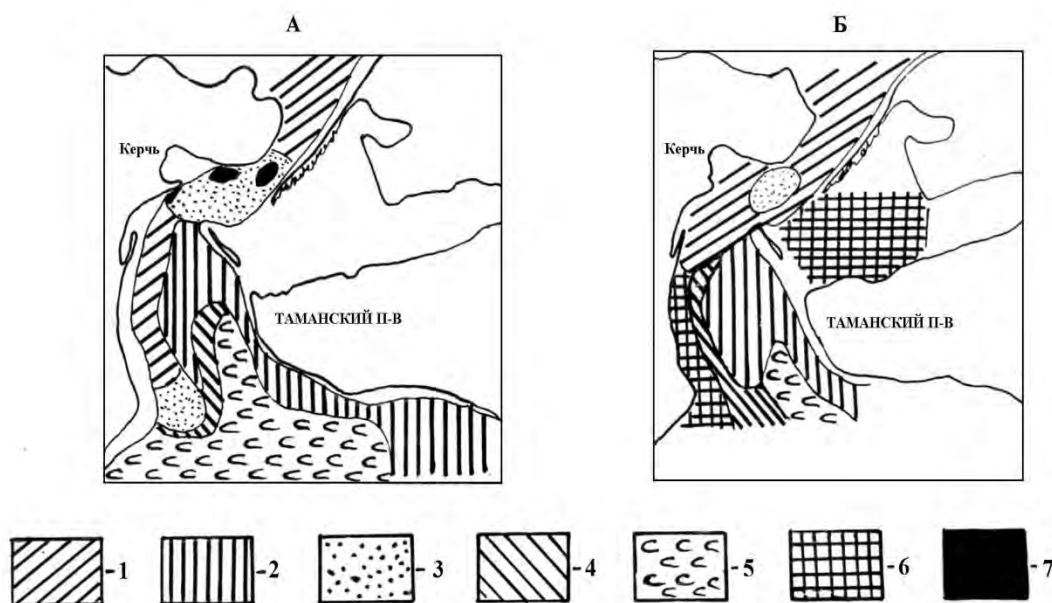


Рис.1. Основные биоценозы Керченского пролива в 1933-1934 [Воробьев, 1934] (А) и 1955 [Несис, 1957] (Б) годах

1-*Cerastoderma (Cardium)*; 2-*Venus (Chamelea)*; 3-*Mytilus*;

4 - *Gibbomodiola*; 5-*Ostrea*; 6-*Nephtys*; 7-промысловые скопления мидий.

Крупномасштабные гидробиологические исследования в Керченском проливе были продолжены только через 30 лет. В сентябре 1986 г. сотрудники ЮгНИРО провели такие работы по схеме из 88 станций с интервалом 1 миля. Пробы зообентоса отбирались дночерпателем Петерсена площадью охвата – 0,1 м<sup>2</sup>. Наш анализ этих материалов из фонда ЮгНИРО позволил выделить в 1986 г. на акватории пролива **4 биоценоза**: 1). *Cerastoderma glaucum*, 2). *Chamelea gallina*, 3. *Melinna palmata*, 4). *Gibbomodiola adriatica*. Они включали

**71 вид** животных [Фащук и др., 2012]. Из них: 22 вида двухстворчатых моллюсков, 5 – брюхоногих моллюсков, также был обнаружен 1 вид панцирных моллюсков. Также был обнаружен 21 вид полихет, 3 – асцидий, 2 – актиний, 13 – ракообразных, 1 – немертины, 3 – иглокожих. При этом, средняя биомасса зообентоса равнялась 431 г/м<sup>2</sup>, а численность – 386 экз./м<sup>2</sup>. В трофической структуре биоценоза доминировали сестонофаги. На их долю приходилось 35% видового богатства, 60% численности и 91% суммарной биомассы. В видовом составе преобладали моллюски – 64% численности и 88% суммарной биомассы.

В отличие от 1955 года, в 1986 г. в южной части пролива исчезли устричники Биоценоз *Nephtys – Oligocheta*, у крымского берега пролива также не сохранился. Кроме того, площадь биоценоза двухстворчатого моллюска *Chamelea gallina* значительно сократилась за счет расширения поселения полихеты *Melinna palmata*, а у побережья Тамани к 1986 г. биоценоз *Venus* оказался потесненным сообществом *Gibbomodiola*.

Следующая крупномасштабная бентосная съемка Керченского пролива была выполнена в 1989 г. сотрудниками Одесского филиала Института биологии Южных морей АН СССР (ОдФ ИнБЮМ) с целью оценки последствий для бентосных сообществ появления здесь вселенцев – брюхоногого моллюска *Rapana*, а также двухстворчатых моллюсков *Anadara inaequalvis* (определенной при обнаружении как *Cunearca cornea*) и *Mya arenaria*. На 78 станциях было отобрано и проанализировано 163 бентосных пробы дночерпателем "Океан-50" и 37 проб драгой [Иванов и др., 2008]. По результатам съемки в проливе выделили **6 биоценозов**: *Cerastoderma glaucum*, *Chamelea gallina*, *Mytilus galloprovincialis*, *Gibbomodiola adriatica*, *Mya arenaria*, *Anadara inaequalvis*. При этом, биоценоз полихеты *Melinna palmata* исчез. Появился биоценоз двухстворчатого моллюска *Mytilus galloprovincialis* и 2 сообщества моллюсков-вселенцев: *Mya arenaria* и *Anadara inaequalvis*.

Для исследования современного состояния популяций макрозообентоса в июне-июле 2010 г. Институтом географии РАН и ЮгНИРО при методическом руководстве сотрудников ИО РАН была выполнена бентосная съемка пролива по схеме станций ЮгНИРО 1986 г. На каждой станции дночерпателем Петерсена (площадь 0,025 м<sup>2</sup>) отбиралось по 4 пробы – для сопоставимости с данными 1986 г.

В донном сообществе Керченского пролива в 2010 г был выделен всего **один (!) биоценоз** – полихеты *Mellina palmata* и обнаружено **73** вида гидробионтов (в 1986-м – 71 вид). Из них: полихет – 22, ракообразных – 17, двухстворчатых моллюсков – 15, брюхоногих моллюсков – 12, асцидий – 3 и по одному виду губок, кишечнополостных, немертин, щупальцевых. Средняя биомасса организмов равнялась 197,6 г/м<sup>2</sup>, численность – 613,7 экз/м<sup>2</sup>. В видовом составе донных организмов за 25 лет доля двухстворчатых моллюсков сократилась с 32 до 21%, доля брюхоногих моллюсков возросла с 7 до 16%, а ракообразных – с 18 до 24%. Вклад остальных видов практически не изменился

С 1986 по 2010 гг. в сообществах макрозообентоса Керченского пролива произошли существенные изменения:

1. В 2010 г. в проливе не обнаружено 10 видов донных организмов, встречаемость которых в 1986 г. достигала 30-54%. Из них: 6 видов двухстворчатых моллюсков, 2 вида полихет, 1 вид кишечнополостных и 1 – ракообразных.

2. С 1986 по 2010 гг. в проливе сократились ареалы **12** видов макрозообентоса: встречаемость 6 видов двухстворчатых моллюсков, 3-х видов брюхоногих моллюсков, одного вида ракообразных, одного вида полихет и одного вида асцидий сократилась с 20-70 до 2-4% и с 40-80 до 20-40%.

3. За последние 25 лет в проливе расширились ареалы 8 видов бентосных организмов: встречаемость 4-х видов двустворчатых моллюсков, 2-х видов полихет и одного вида ракообразных увеличилась с 1-9% до 10-47%.

4. В южной части пролива из четырех биоценозов, включавших в 1986 г. 6 сообществ макрозообентоса, в 2010 г. был обнаружен только один - биоценоз полихеты *Mellina palmata* (рис.2а). Ее встречаемость по сравнению с 1986 г. увеличилась с 55 до 65,2%. При этом средняя биомасса сократилась в 4,5 раза - с 13,3 до 3,1 г/м<sup>2</sup>.

5. Биомасса и встречаемость основных биоценозобразующих в 1986 г. видов двустворчатых моллюсков *Cerastoderma glaucum* и *Chamelea gallina* к 2010 г. сократились соответственно с 75 до 9 г/м<sup>2</sup>, с 66 до 0,36 г/м<sup>2</sup> и с 50 до 37%, с 80 до 20% (рис. 2б, в), а биоценоз двустворчатого моллюска *Gibbomodiola adriatica* полностью исчез из пролива (рис. 2г).

6. По суммарным показателям за последние 25 лет произошло **20 кратное** снижение средней биомассы макрозообентоса – с 260 до 13 г/м<sup>2</sup>, а численность донных организмов при этом возросла в два раза - с 430 до 880 экз./м<sup>2</sup>. Соответственно, средний вес особи уменьшился в **41 раз**, а ее линейный размер – в **3,5 раза**.

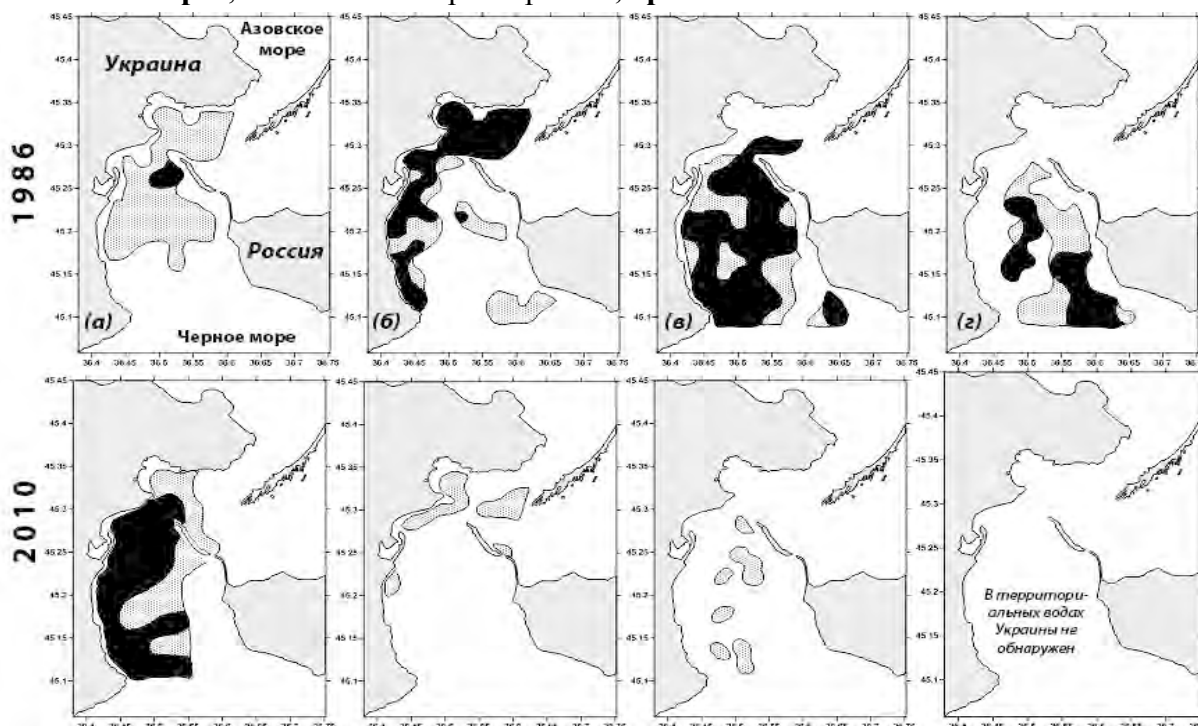


Рис.2. География биоценозов (черный) и ареалов обитания (штриховка) видов макрозообентоса, образующих биоценозы в Керченского пролива в 1986 и 2010 гг.

(а) - *Mellina pal mata*;, (б) - *Cerastoderma glaucum*; ( в) - *Chamelea gal lina*; (з) - *Gibbomodiola adriatica*.

7. По сравнению с 1986 годом, в 2010 г. число видов зообентоса на единицу площади дна пролива ( $\alpha$ -разнообразия), и скорость прироста видов при увеличении площади ( $\beta$ -разнообразия), существенно увеличились (рис.3).

Учитывая известную нелинейность в распределении донных организмов и значительное влияние в этой связи случайности на видовой состав взятой в полевых условиях пробы, мы, тем не менее, убеждены в том, что к 2010 г. популяции традиционных массовых видов зообентоса пролива претерпели существенные изменения, проявившиеся в сокращении площадей их распределения вплоть до практически полного исчезновения из пролива,



уменьшении размера и веса отдельной особи и, как следствие, уменьшении суммарной биомассы организмов.

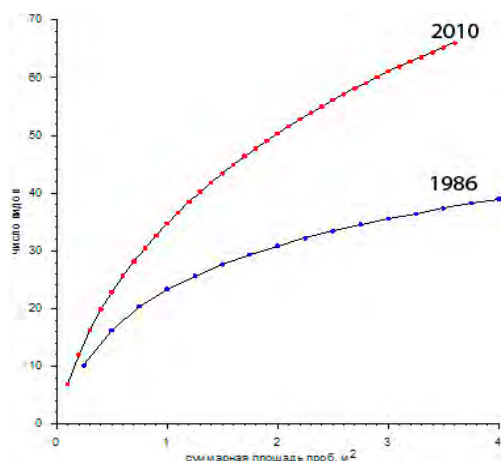


Рис. 3. Изменения  $\alpha$  и  $\beta$ -разнообразия макрозообентоса Керченского пролива

Сокращение ареалов бентосных организмов произошло практически на всей территории дна южной части пролива, но при этом, в зависимости от вида (особенностей экологии) районы максимальных трансформаций меняются. Это свидетельствует на наш взгляд о существенной неоднозначности, а также пространственной неоднородности и изменчивости возможных причин отмеченных гидробиологических изменений. Ими могут быть:

1. Естественная цикличность колебаний численности и биомассы в результате смены поколений, определяемая продолжительностью жизни особей каждого вида (*Cerastoderma glaucum*, например, – до 14 лет).

2. Уничтожение донных организмов хищными гребневиками и медузами на ранних стадиях развития - в период планктонного (личиночная форма) образа жизни.

3. Гибель донных организмов на ранних (личиночных) стадиях развития в результате химического загрязнения вод и разливов (пленки) нефтепродуктов.

4. Уничтожение взрослых особей хищниками – брюхоногим моллюском *Rapana*.

5. Нарушение естественного процесса осадконакопления, ведущего к заилению дна, в результате хозяйственной деятельности.

6. Изменение динамики вод пролива, снижение прозрачности вод, освещенности дна, ухудшение аэрации придонного слоя.

### Список литературы

Воробьев В.П. Гидробиологический очерк Керченского пролива. – 1934. Керчь. АзЧерНИРО. 24 с.

Иванов Д.А., Синегуб И.А. Трансформация биоценозов Керченского пролива после вселения хищного моллюска *Rapana thomasiana* и двустворчатых *Mya arenaria* и *Cunearca cornea*. – 2008. Материалы III Междунар. конф. «Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона». Керчь. 10-11 октября 2007 г. С. 45-51.

Несис К.Н. Донные биоценозы Керченского пролива. Сборник работ студенческого научного общества. М. 1957 с.10.

Фащук Д.Я., Флинт М.В., Кучерук Н.В., Терентьев А.С., Литвиненко Н.М., Ковальчук К.С. География макрозообентоса Керченского пролива: динамика распределения, структуры и показателей развития. – 2012. Изв. РАН. Сер. геогр. №3, с. 94-108.



**Костоеды *Osedax* (Siboglinidae; Annelida): бескишечные черви, скелеты позвоночных и половой диморфизм.**

**Римская-Корсакова Надежда Николаевна**

*Кафедра зоологии беспозвоночных, биологический факультет МГУ*

Siboglinidae – это уникальная группа морских бескишечных червей, населяющие исключительно восстановительные сообщества на дне Мирового океана. У всех представителей этой группы во взрослом состоянии нет кишки, они питаются исключительно за счет симбиотических хемоавтотрофных бактерий. В состав группы входят погонофоры (*Grenulata*), населяющие мягкие осадки и которые являются индикаторами нефтяных месторождений; вестиментиферы (*Vestimentifera*), обитающие в районах гидротермальных источников и углеводородных высачиваний; черви-древоточцы (*Sclerolium*) с гниющей древесины и черви-костоеды (*Osedax*), колонизирующие разлагающиеся кости позвоночных животных. Лекция посвящена обзору работ по биологии и развитию костоедов. Группа открыта 2002 году в заливе Монтерей, США. Туловище погружено в трубку и несет 4 пальпы на переднем конце, сзади имеется корневая система, сверлящей гидроксипатит костей китов, птиц, рыб. Питаются за счет содержащихся в костях липидов и коллагена, которые усваивают гетеротрофные бактерии в корнях костоедов. Возможно, что найдены отверстия и ходы корней в костях древних рептилий, что предполагает их появление порядка 100 млрд. л. н. Группе характерен ярко выраженный половой диморфизм: карликовые личинкоподобные самцы обитают в трубках взрослых самок. Известны косвенные признаки внутреннего оплодотворения, хотя неизвестен совокупительный орган у прогенетических самцов и неизвестно место, через которое осуществляется передача спермы. Развитие спиральное, личинка-трохофора оседает на кость на 12-16 сутки после оплодотворения, для благополучного метафорфоза должна быть инфицирована бактериями-симбионтами на четвертые сутки после оседания, через 42 дня взрослая самка может снова нереститься.

## **СЕКЦИЯ: ОКЕАНОЛОГИЯ**

## Органические соединения во взвеси поверхностных вод по маршруту НИС «Академик Николай Страхов».

**Титова Алена Михайловна, Немировская Инна Абрамовна**

МГУ, географический факультет, г. Москва, ИОРАН, г. Москва

Верхний деятельный слой океана является поставщиком осадочного вещества (взвеси) в донные осадки и, в конечном счете, становятся частью геологической летописи океана (Лисицын, 2014). В рейсе НИС «Академик Николай Страхов» по маршруту п. Коломбо – Индийский океан – Красное – Средиземное моря – Атлантический океан – Северное, Балтийское моря (пролив Большой Бельт, декабрь 2015 г.- январь 2016 г) проводили отбор проб поверхностной воды (рис. 1). Цель исследования – установить влияние климатических особенностей и фронтальных зон на распределение взвеси, а в ее составе органических соединений (ОС): липидов, углеводов (УВ) хлорофилла «а» (хл *a*) в поверхностных водах.

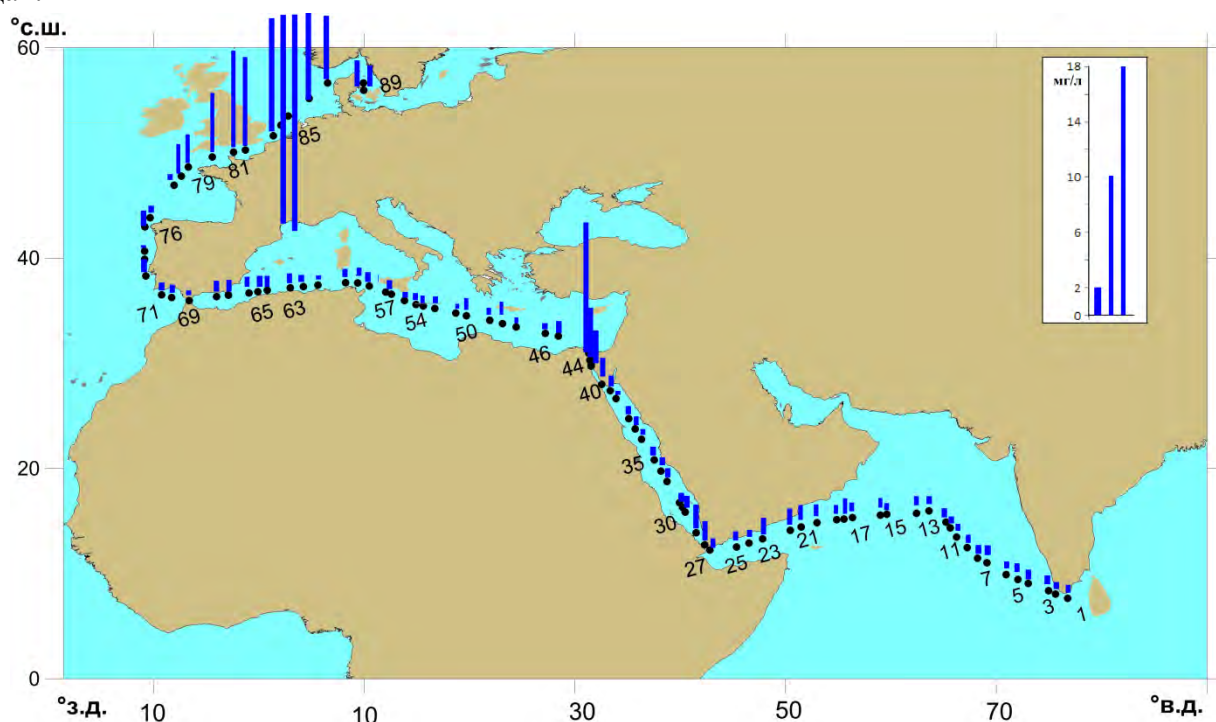


Рис. 1. Распределение взвеси по маршруту НИС «Академик Николай Страхов», цифры – номера станций.

Фронтальные зоны относятся к числу наиболее интересных явлений в океане, так как здесь резко возрастают пространственные градиенты основных термодинамических характеристик по сравнению с их фоновым распределением (Федоров, 1983) и изменяется поведение всех присутствующих в водной толще соединений. Маршрут судна захватывал тропические, субтропические и умеренные зоны, в гумидных и аридных областях океанов. Известно, что в гумидных зонах депоцентры взвеси располагаются в соответствии с положением фронтальных зон: в маргинальных фильтрах, в местах встречи холодных с теплыми течениями, в аридных – на границах с гумидными и т.д. (Лисицын, 2014). Во фронтальных океанских зонах происходит аккумуляция загрязняющих веществ, даже находящихся в следовых концентрациях, таких, как фторорганические соединения (Lohman, Belkin, 2014). Нефть и нефтепродукты относятся к наиболее распространенным

загрязняющим веществам. Современная система анализа нефти в морских средах из-за сложности ее состава основана на определении содержания УВ, которые зачастую называют нефтяными, не учитывая при этом природный морской углеводородный фон. Поэтому для УВ, соединений, как природного, так и антропогенного происхождения эти исследования наиболее актуальны.

Для анализа пробы воды отбирали с бака судна 3-4 раза в течение светлого времени суток. Взвесь отфильтровывали на предварительно отмытые (4% особо чистой соляной кислотой) поликарбонатные ядерные фильтры (0.45 мкм) под вакуумом при 0.4 атм. для определения в дальнейшем ее концентрации гравиметрическим методом в лабораторных условиях. Для получения репрезентативных результатов пробу фильтровали на 3 фильтра. Для изучения ОС их выделяли фильтрацией из воды при 0.2 атм. на предварительно прокаленные при 450°C стекловолкнистые фильтры GF/F (эффективный размер пор 0.7 мкм). В лабораторных условиях определяли концентрации хл *a* - флуориметрическим методом, липиды (суммарная фракция, извлекаемая органическими растворителями) и УВ – методом ИК-спектрофотометрии, состав взвеси - на сканирующем электронном микроскопе. Подробности методических процедур описаны (Немировская, Кравчишина, 2016)

Полученные результаты показали, что наиболее низкие концентрации взвеси установлены в Индийском океане и в Средиземном море, где только в отдельных пробах ее содержание достигало 1 мг/л (рис. 1). Повышенные концентрации взвеси приурочены к выходу из Красного моря (9.53 мг/л), а максимальная величина - к Северному морю (15.92 мг/л). Средние содержание взвеси (табл. 1) увеличивались в последовательности для отдельных исследованных районов (мг/л): Средиземное море (0.724) < Индийский океан (0.743) < район Аравийского п-ова (1.034) < Восточная Атлантика (1.075) < Красное море (1.649) < Ла-Манш–Балтика (7.284). При этом в Индийском океане значение  $\sigma$  (стандартное отклонение) составило всего 12.5% от средней величины, в районе Аравийского п-ова - 25.4%, в Средиземном море и в Восточной Атлантики - 65-67%. В Красном море дисперсность данных была настолько велика (за счет высоких концентрациях в Суэцком канале в районе скопления судов), что значение  $\sigma$  превысило среднюю величину в 1.2 раза.

Таблица 1. Средние концентрации взвеси и углеводов в поверхностных водах различных районов, отобранных по маршруту экспедиции.

Район	Кол-во проб	Взвесь, мг/л			Углеводы, мкг/л		
		средняя	интервал	$\sigma$	средняя	интервал	$\sigma$
Индийский океан	15	0.743	0.595-0.880	0.093	6.1	3.0-10.2	2.5
Район Аравийского п-ова	10	1.034	0.660-1.385	0.263	11.1	0.3-50	14.1
Красное море	20	1.649	0.450-9.535	2.006	10.2	3.8-76.2	15.8
Средиземное море	24	0.724	0.190-1.050	0.202	4.8	1.9-9.9	2.2
Восточная Атлантика	10	1.075	0.485-2.345	0.712	6.1	3.0-10.2	2.5
Ла-Манш-Балтика	10	7.284	1.605-15.920	4.892	11.1	0.3-50	8.4

Для анализа состава взвеси с помощью сканирующего электронного микроскопа было выбрано 5 ключевых станций: ст.18 - в Индийском океане на входе в Аденский залив, ст. 28 - в Баб-эль-Мандебском проливе, ст. 44 - в Суэцком канале, станции 81 и 85 - на входе и выходе из пролива Ла-Манш. В Индийском океане при концентрации 1.35 мг/л в составе взвеси преобладали диатомовые водоросли и органические остатки. Минеральные частицы состояли из барита и кварца. Кроме того в пробе было обнаружена сажа антропогенного происхождения, в составе которой преобладал углерод с незначительной примесью железа, кремния и алюминия. В Баб-эль-Мандебском проливе при концентрации 1.995 мг/л взвесь представлена разнообразными диатомовыми водорослями и детритом; минеральные частицы не были обнаружены. В Суэцком канале при более высоком содержании (9.535 мг/л) взвесь состояла из тонкодисперсных глинистых частиц и диатомовых водорослей. Взвесь, на входе в пролив Ла-Манш, при концентрации 7.250 мг/л представлена в основном различными минеральными частицами: доломит, кальцит, альбит и кварц. Кроме того во взвеси обнаружены частицы детрита и, в меньшей степени, фрагменты диатомовых водорослей. Продукты антропогенного происхождения (сферы сгорания или сажи) не было обнаружены. В Северном море на выходе из пролива Ла-Манш была зафиксирована максимальная концентрация взвеси в рейсе – 15.92 мг/л. В составе взвеси преобладали глинистые частицы и органические остатки с высокой концентрацией кремния, которая может возникать из кремнесодержащего планктона, в первую очередь из диатомовых водорослей. Определены единичные стекло-сферы золы от сжигания каменного угля. Сфер сгорания и сажи от сжигания нефтепродуктов в пробе не было обнаружено.

Концентрации УВ в поверхностных водах были довольно низкими, и изменялись в основном в сравнительно узком диапазоне: в среднем 4.8-11.1 мкг/л (табл. 1), т.е. были значительно ниже ПДК для нефтяных УВ 50 мкг/л (рис. 2). Исключение представляют две пробы: при выходе из Баб-эль-Мандебского пролива в Красное море – 76.2 мкг/л и в проливе Ла-Манш на ст. 81 – 50 мкг/л, т.е. в наиболее судоходных районах. В проливе Ла-Манш и в 2014 и 2015 гг. нами установлены высокие концентрации УВ (Немировская, Кравчишина, 2016), достигающие даже 100 мкг/л, т.е. этот судоходный район можно отнести к областям мелкомасштабного увеличения концентраций УВ, обусловленных нефтяным загрязнением. Кроме того содержание УВ повышались при выходе из Суэцкого канала в области скопления судов с 5-6 до 11-16 мкг/л.

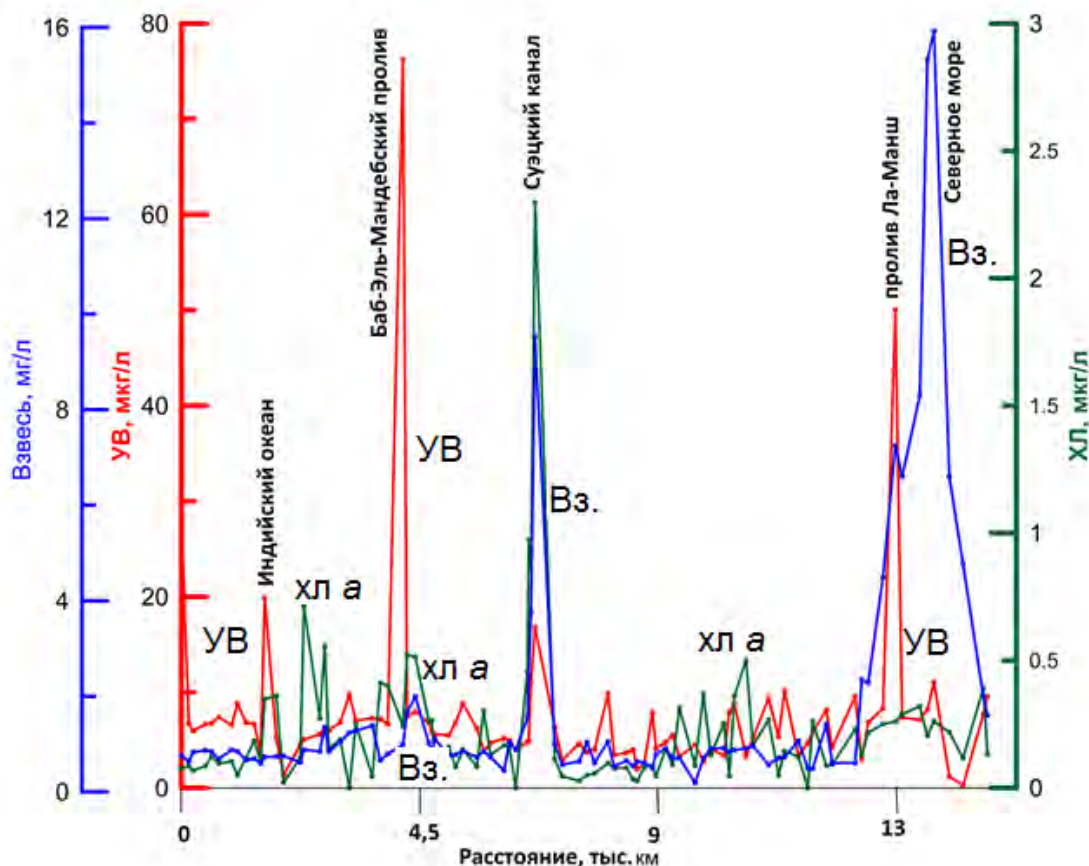


Рис. 2. Изменчивость концентраций взвеси, УВ, хл а (3) в поверхностных водах по маршруту судна

Совершенно неожиданно низкие концентрации УВ оказались в поверхностных водах Средиземного моря (в среднем 4.8 мкг/л). Ежегодно в Средиземное море умышленно или случайно сливается около 400 тыс. т нефтепродуктов. На его берегах проживает 150 млн. человек и ещё 200 млн. ежегодно приезжает сюда на отдых. Поэтому Средиземное море считается самым грязным на Земле. В тоже время из-за повышенных температур воды в летнее время в Средиземном море создается благоприятная среда для размножения микроорганизмов, в том числе нефтеокисляющих, то есть условия для разложения нефтяных УВ.

В Северном и Балтийском морях, несмотря на многочисленные нефтяные вышки и интенсивное судоходство содержание УВ не превышало 11 мкг/л. Снижение концентраций УВ в водах этих морей отмечали и в 2014-2015 гг. (Немировская, Кравчишина, 2016). Только в мае 2010 г. в этих морях (по маршруту следования судна от порта Кейптаун до порта Санкт-Петербург, (55-я Российская Антарктическая Экспедиция), концентрация УВ увеличилась более, чем в 2 раза по сравнению с атлантической водой и достигали 102 мкг/л, а средняя концентрация УВ (52 мкг/л) была сопоставима с величиной ПДК для нефтяных УВ (Немировская, 2013).

Концентрации хл а в поверхностных водах оказались довольно низкими, особенно в открытых водах Индийского океана, при движении судна на север, а также восточной части Средиземного моря (рис. 21). Видимо, уменьшение продуктивности вод в зимний период

привело к тому, что расширились районы с содержанием хл а < 0.1 мкг/л. При приближении к берегу содержание хл а несколько увеличивались до 0.2-0.4 мкг/л из-за циркумконтинентальной зональности. При этом в прибрежных водах не наблюдалось синхронного изменения концентраций хл а и взвеси из-за терригенного характера самой взвеси, и в отдельных случаях их содержание изменялись в противофазе (рис. 2)

В заключение необходимо отметить, что синхронное изменение изученных соединений в поверхностных водах происходит только при близких биогенных источниках. Различие в составе взвеси (особенно увеличение терригенной компоненты) приводит к отсутствию связей в распределении взвеси и хл а. Более высокие концентрации взвеси в поверхностных водах по сравнению с весной, скорее всего, вызвано увеличением поступления аэрозолей с зимними ветрами.

На содержание УВ в поверхностных водах оказывает влияние их поступление с нефтяным загрязнением. Поэтому наибольшая изменчивость концентраций УВ приурочена к проливу Ла-Манш (зона стабильного накопления нефтяных УВ) и к южной части Красного моря, где их содержание превысило ПДК для нефтяных УВ. В Северном и Балтийском морях, несмотря на интенсивное судоходство, содержание УВ в среднем 11 мкг/л оказалось даже ниже, чем весной 2015 г., но сопоставимо с данными, полученными весной 2014 г. - 10-12 мкг/л (Немировская, 2013). Наиболее низкие концентрации взвеси (в среднем 0.724 мг/л), хл а (в среднем 0.144 мкг/л), и УВ (в среднем 4.8 мкг/л) установлены в Средиземном море, что обусловлено низкой продуктивностью его центральных районов, а также эффективностью мер по предотвращению нефтяного загрязнения.

Обработка материалов выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ № 14–50–00095. Интерпретация данных проведена в рамках Государственного задания ИО РАН на 2015–2017 гг. по теме № 0149–2014–0038.

### **Список литературы**

Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер земли. Мировой океан Т. 2. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.

Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013, 432 с.

Немировская И.А., Кравчишина М.Д. Изменчивость концентрации взвеси и органических соединений во фронтальных зонах Атлантического и Южного океанов// Океанология. 2016. № 1. С.60-69.

Lohmann R., Belkin I.M. Organic pollutants and ocean fronts across the Atlantic Ocean: A review // Progress in Oceanography. 2014. V. 128. P. 172–184.

## Характеристики сгонно-нагонных колебаний уровня Белого моря.

Куликов Михаил Евгеньевич, Кондрин Алексей Трофимович

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет

### Введение

Исследования характеристик колебаний уровня моря в прибрежной зоне относятся к наиболее актуальным направлениям современной океанологии, т.к. их знание необходимо при планировании и проведении научных исследований, а также для решения многих прикладных задач. Хотя колебания уровня Белого моря по данным прошлых лет изучены достаточно хорошо, в последние десятилетия таких исследований практически не проводилось и публикации на эту тему весьма малочисленны. Цель данной работы восполнить этот пробел и получить характеристики непривливаемых колебаний уровня Белого моря на основании новых данных наблюдений. Для решения этой задачи в работе использованы материалы наблюдений над уровнем моря за 2007 год на станциях Сосновец, Соловки и Северодвинск (рис.1).

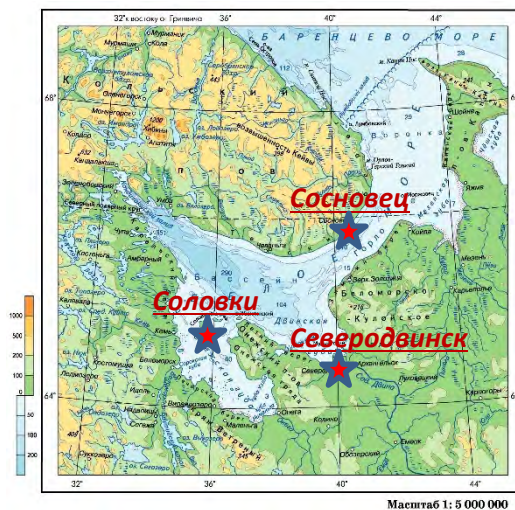
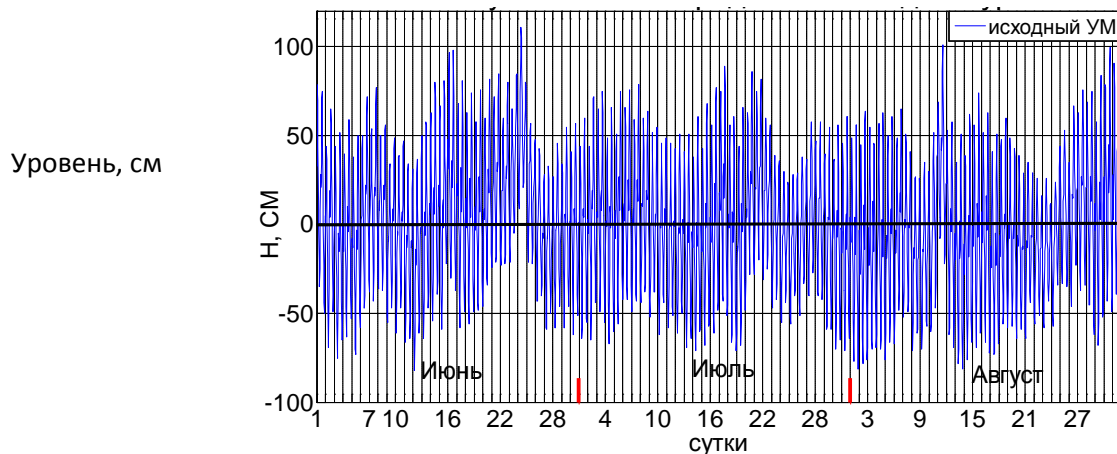


Рис. 1. Положение станций в контексте Белого Моря.

### Методика

Для того чтобы выделить сгонно-нагонные (непериодические) остаточные колебания уровня моря - ОУМ, необходимо из суммарного уровня (УМ, рис.2) вычесть приливную составляющую. Для расчета приливных колебаний уровня в настоящей работе использованы результаты гармонического анализа временных рядов высоты уровня, полученные в результате измерений на станциях. Гармонический анализ колебаний уровня моря выполнен с помощью пакета программ T\_TIDE методом наименьших квадратов. Далее для сглаживания использовался тангенциальный фильтр Баттерворта (рис. 3).

Рис. 2. Колебания уровня моря на станции Северодвинск за июнь-август 2007 г.





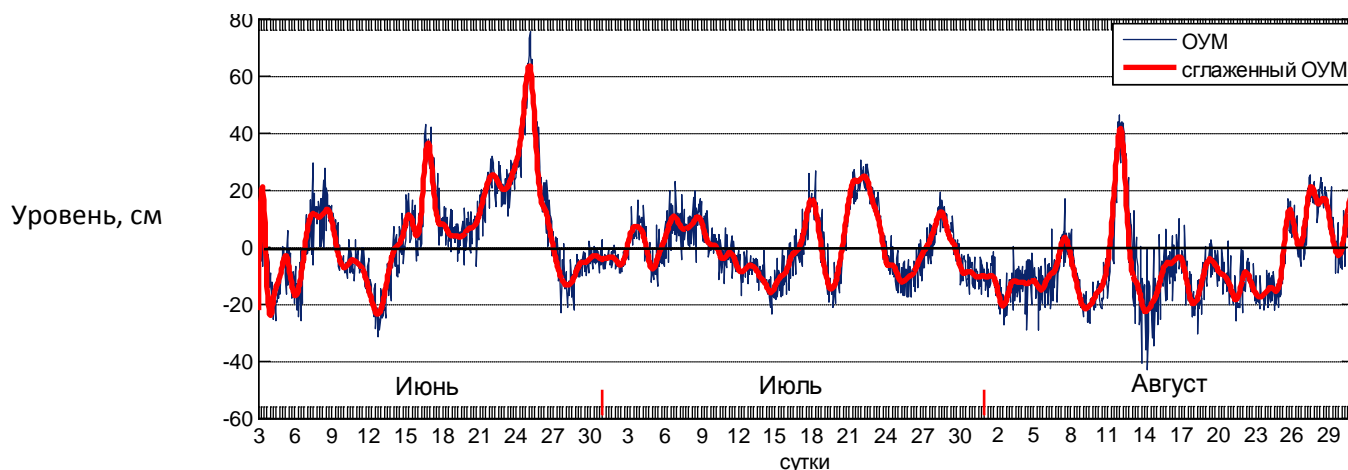


Рис. 3. Непериодические колебания уровня моря (синяя линия) и они же сглаженные фильтром Баттерворта (красная линия) на станции Северодвинск за июнь-август 2007 г.

### Результаты

Обобщена основная информация по приливным колебаниям. Были построены диаграммы амплитуд основных приливных волн и по их соотношениям (суточных к полусуточным гармоникам) получено, что на всех станциях преобладают лунные полусуточные приливы (M2). Для Северодвинска (рис. 4) также значим вклад более высокочастотных (1/4 и 1/6 – суточных) гармоник (M4, M6, 2MS6).

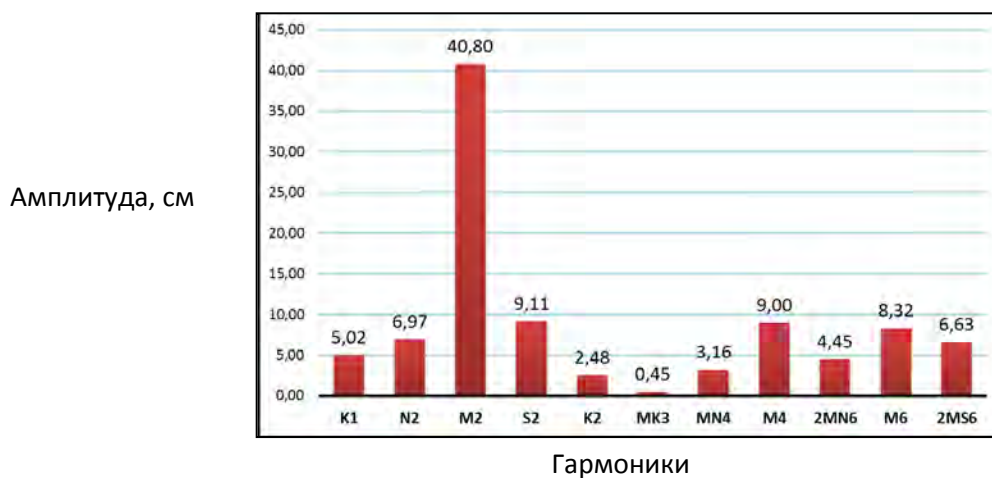


Рис. 4. Амплитуды основных гармоник на станции Северодвинск за 2007 г.

По характеру преобладающей вынуждающей силы было выделено 3 основных типа нагонов: первый тип, связан с долгопериодным присутствием области пониженного приземного давления (эффект «обратного барометра») называемый барическим нагоном; второй тип характеризуется преобладающей ролью ветрового воздействия на уровень моря – ветровой нагон; третий тип – штормовые нагоны волнового типа, возникающие в результате воздействия колебаний атмосферного давления при прохождении быстрых барических образований через исследуемую акваторию. В данной работе были проанализированы все эти типы, с включением в них нагонов (большинство) со смешанным типом по характеру вынуждающих сил (рис. 5-6).

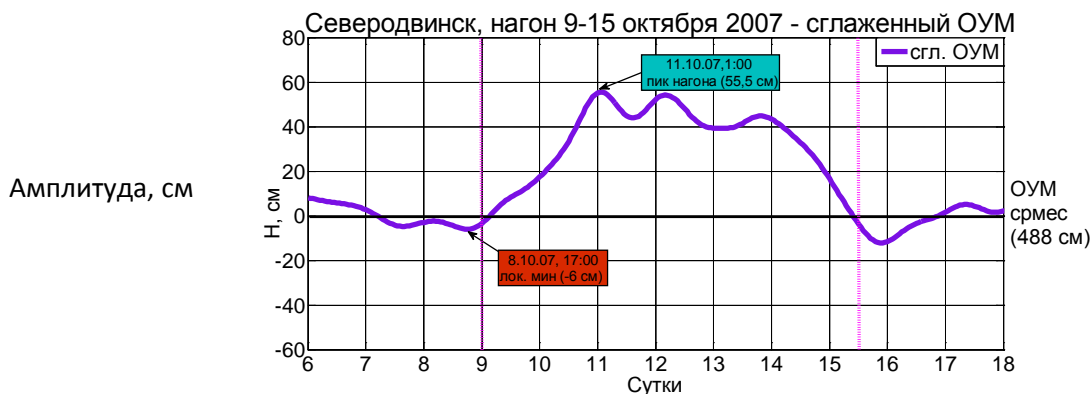


Рис. 5. Нагон 9-15 октября 2007 г. на ст. Северодвинск с решающими ветровым и барическими воздействиями



Рис. 6. Нагон 30 января – 3 февраля на ст. Соловки с преимущественно штормовым (циклоническим) воздействием

Для анализа нагонов также изучалась метеорологическая обстановка накануне этого явления. Так для штормового нагона (рис. 6) на станции Соловки (с пиком 31 января) показана синоптическая ситуация за 29-30 января (рис. 7), где виден мощный циклон, прошедший через акваторию Белого моря с большой скоростью и возбудивший нагонную волну, достигшую Соловки своим гребнем к утру 31 января.

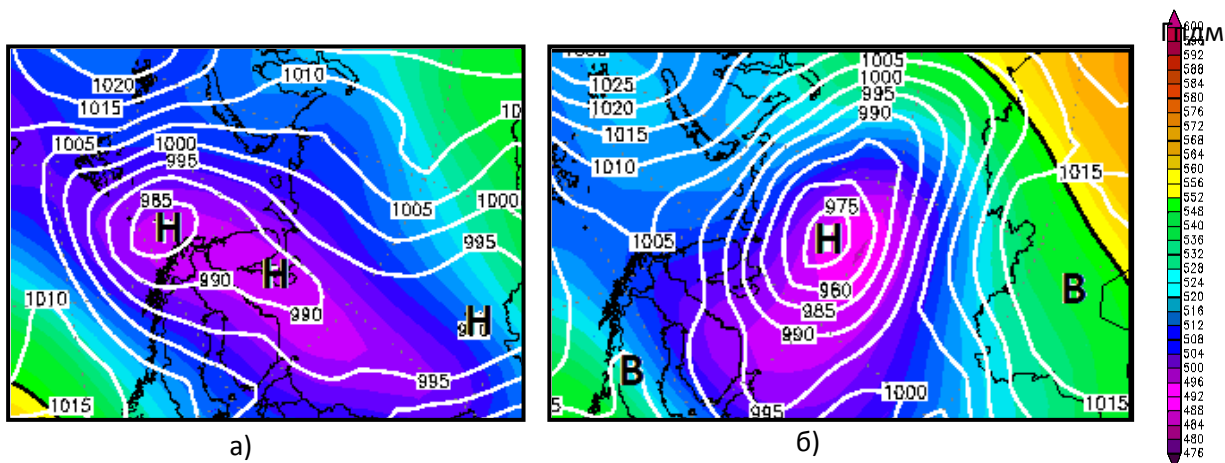


Рис. 7. Синоптическая обстановка на а) 29.02.07, б) 30.02.07. Заловка 500гПа - геопотенциал (гпдм), изолинии: приземное давление (гПа), Н – центр циклона – область пониженного давления, В – центр повышенного давления (антициклона).

Сравнение временного хода уровня при нагонах на различных станциях выявило различия во времени наступления максимальных высот (пика нагонов) в 2-3 часа, что показано на примере для Сосновца и Соловков (рис. 8).



Рис. 8. Сравнение неперiodических (остаточных) колебаний уровня моря на станциях Сосновец (зеленая линия) и Соловки (синяя линия) за январь 2007 г. Черной линией обозначен средний ОУМ для Сосновца, а пунктиром-точкой – средний ОУМ для Соловков.

## **Пути миграции загрязняющих веществ в российской части Каспийского моря: от дельты Волги до Дербентской котловины.**

**Монахова Галина Анатольевна, Енина Оксана Валерьевна, Коноваленко Елена Николаевна, Петреченкова Валерия Геннадиевна, Чернышова Наталья Сергеевна**  
*ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань*

Особенности загрязнения морской среды представляют не столько научный, сколько практический интерес, так как они во многом определяют характер ее использования и меры по защите. Их выявление на современном этапе эксплуатации природных ресурсов российской части Каспийского моря представляется нам особенно актуальным.

При этом для определения путей миграции отдельных загрязняющих веществ (ЗВ), выделения зон обеднения и обогащениями, как правило, необходим достаточно большой объем сопоставимых данных о состоянии и загрязнении морской среды. Желательно, чтобы такие данные были получены со станций с высокой плотностью распределения в пространстве и времени. Казалось бы, для такой цели наилучшим образом подходят данные государственной наблюдательной сети. Однако в российской части Каспийского моря в течение длительного времени их было явно недостаточным для подобных оценок. Между тем, в 2012-2014 гг. сеть станций наблюдений и количество определяемых параметров были существенно расширены. Это обстоятельство послужило стимулом к выполнению настоящих исследований.

Цель исследований – определить особенности загрязнения российской (северо-западной) части Каспийского моря и их связь с процессами трансформации и миграции загрязняющих веществ. Основными материалами в работе стали данные о содержании ЗВ в воде, донных отложениях и взвеси, полученные в рамках реализации «Программы мониторинга трансграничных водных объектов Каспийского моря на 2012-2014 гг.», принятой Росгидрометом. Основное внимание уделялось нефтепродуктам, тяжелым металлам и стойким органическим загрязнителям. В морской воде измерялась концентрация взвеси, а в донных отложениях определялся гранулометрический состав и содержание органического вещества (ОВ).

Результаты исследований донных отложений показывают, что районы аккумуляции мелкозернистых фракций (алеврита и пелита) и ОВ в морских осадках российской части моря маркируют путь следования основной струи волжских вод после выхода ее на взморье. Сначала она следует вдоль Волжской бороздины, а затем, после выхода в Средний Каспий, подхваченная западной ветвью циклонического круговорота и разбавленная морскими водами идет вдоль Дагестанского побережья до самой дельты р. Самур. При этом алевритовые отложения в основном аккумулируются в Волжской бороздине и прилегающих к ней районах, пелитовая фракция отлагается в северной части Дагестанского шельфа и в Дербентской котловине, расположенной напротив дельты р. Самур, а органическое вещество накапливается преимущественно в донных осадках Дербентской котловины (рис.1).

Повышенная концентрация нефтепродуктов (НП) в морской воде обычно наблюдается на взморье Волги. Исключения из этого правила иногда наблюдаются в маловодные годы (таким в рассматриваемый период времени был 2014 г.), когда поступление НП уменьшается. Однако, изменения объема поступления НП со стоком Волги никак не отражаются на их содержании в воде на границе российской части моря (за исключением участка границы, проходящего по взморью Волги), где концентрация НП относительно

постоянна (исключением является участок границы, проходящий по взморью Волги).

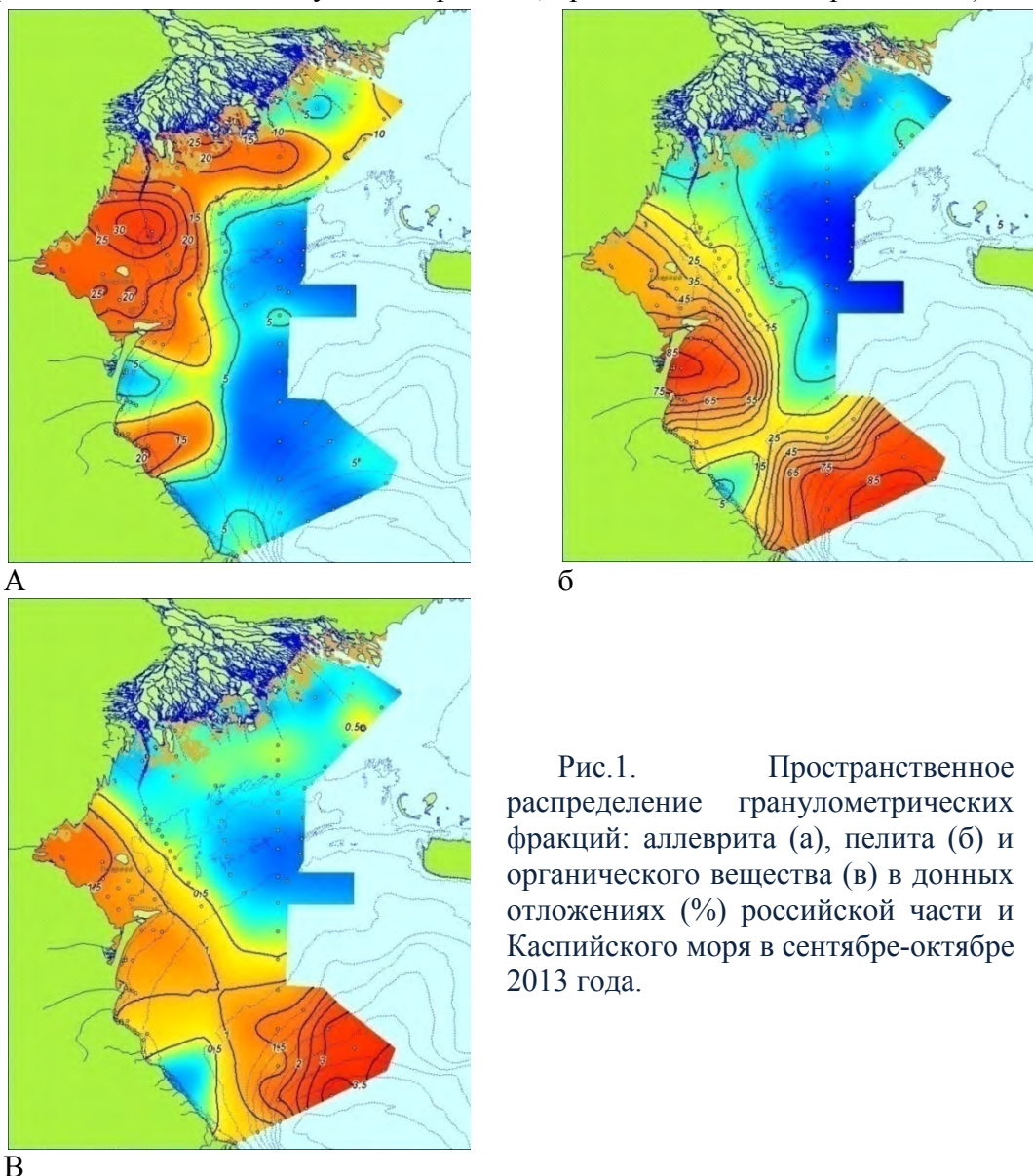
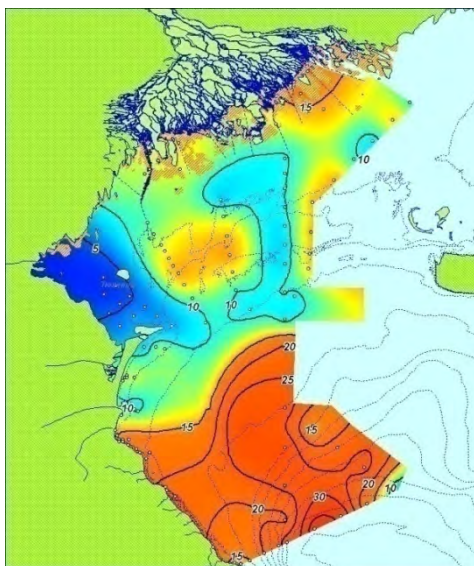


Рис.1. Пространственное распределение гранулометрических фракций: аллевролита (а), пелита (б) и органического вещества (в) в донных отложениях (%) российской части и Каспийского моря в сентябре-октябре 2013 года.

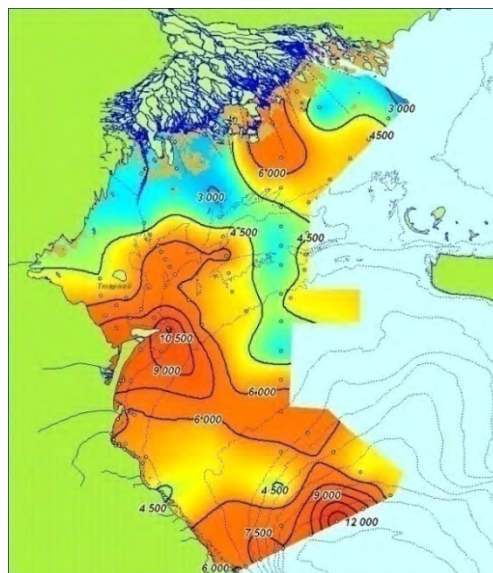
Наиболее вероятной причиной этого являются процессы самоочистения, в том числе за счет адсорбции НП на взвеси в зоне смешения речных и морских вод и осаждения последней. Далее пути миграции НП, по-видимому, совпадают с путями миграции природных ОВ, поскольку их области накопления совпадают, – те и другие накапливаются в донных отложениях Дербентской котловины (рис. 2).

В результате исследований было установлено, что концентрация ТМ во взвеси существенно выше, чем в воде и донных отложениях. Благодаря этому взвесь играет важную роль в миграции ТМ. Подтверждается это тем, что выявленные по результатам исследований 2012-2013 гг. области аккумуляции тяжелых металлов в донных отложениях российской части моря, а именно, взморье Волги, северная часть Дагестанского шельфа и Дербентская котловина (рис. 2), совпадают с зонами накопления мелкозернистых фракций (аллевролита и пелита) в морских осадках. В 2014 году в условиях уменьшения объема речного стока и, соответственно, поступления металлов в море с речными водами, число областей, в донных отложениях которых аккумуляровались тяжелые металлы, сократилось до двух или даже до одной, при этом в первую очередь сокращение коснулось взморья Волги.

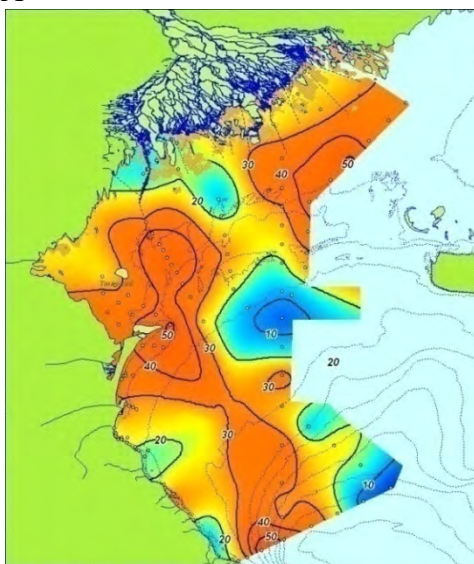




А



Б



В

Рис.2 Пространственное распределение нефтепродуктов (а), железа (б) и цинка (в) в донных отложениях (мг/кг) в российской части Каспийского моря в сентябре-октябре 2013 года

По данным исследований 2012-2014 гг. преимущественное накопление стойких органических загрязнителей (главным образом хлорорганических соединений) происходило в донных отложениях северной части Дагестанского шельфа.

В целом результаты исследований указывают на существование трех зон аккумуляции взвешенных наносов в донных отложениях российской части Каспийского моря, в которых помимо мелкозернистых фракций и ОВ накапливаются также загрязняющие вещества. При этом первые две зоны (взморье р. Волги и северную часть Дагестанского шельфа) можно назвать транзитными, а третью (Дербентскую котловину) – терминальной. Расположение этих зон вдоль струи распресненных вод, следующей от устья Волги до устья Самура, позволяет говорить о тесной связи увлекаемых ей взвешенных наносов и загрязняющих веществ. Эта связь, которая начинается с адсорбции ЗВ взвесью на взморье Волги и заканчивается их совместным захоронением в Дербентской котловине, по-видимому, играет важную роль в самоочищении морских вод российской части Каспийского моря.

## Углеводороды в морской среде северо-западной части Каспийского моря: Проблемы идентификации и мониторинга.

<sup>1</sup>Островская Елена Васильевна, <sup>1</sup>Войнова Мария Владимировна, <sup>1</sup>Холина Оксана Ильинична, <sup>2</sup>Колмыков Евгений Валерьевич

<sup>1</sup>ФГБУ «КаспМНИЦ»/г. Астрахань, <sup>2</sup>ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», г. Астрахань

Углеводороды (УВ) включены в список приоритетных загрязняющих веществ, оказывающих существенное влияние на качество морской среды Каспийского моря, и потому подлежащих мониторингу. Основной целью данной работы является обобщение результатов исследований, проведенных в 2012-2014 гг. в северо-западной части Каспийского моря, прилегающей к российской территории, а также многолетних данных государственного мониторинга по поступлению углеводородов с волжским стоком.

В 2012-2014 гг. содержание УВ в воде отличалось высокой пространственной неоднородностью, варьируя от 1 to 240 мкг/л (4,8 ПДК) с наибольшими величинами в прибрежной зоне Дагестана и в районах судоходных трасс. В донных отложениях количество УВ менялось от следов до 114 мкг/г, суммарные концентрации полиароматических углеводородов (ПАУ) – от следов до 699 нг/г.

Долгое время считалось, что основным источником углеводородов на акватории его северной части является волжский сток (Устьевая область, 1998). Анализ данных Росгидромета по поступлению углеводородов с волжским стоком в 2004-2014 гг. показал, что в последнее десятилетие, несмотря на довольно значительные межгодовые вариации, сток УВ имеет устойчивую тенденцию к снижению (рис. 1).

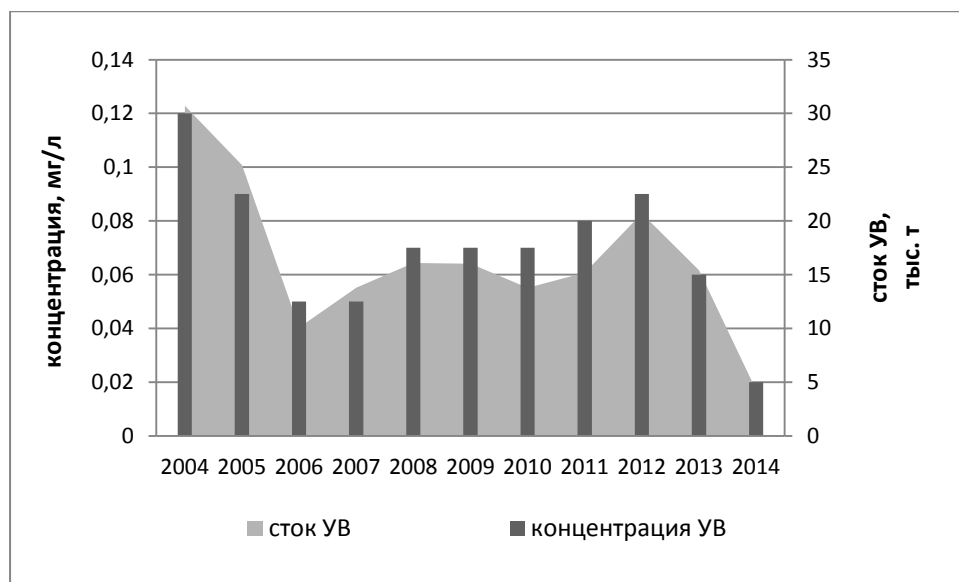


Рис. 1. Среднегодовая концентрация и волжский сток УВ в период 2004-2014 гг.

К тому же, концентрации углеводородов в донных осадках снижаются с увеличением солености на геохимическом барьере устьевого взморья Волги (рис. 2). Анализ рис. 2 показывает, что соленость 3,5-4‰ (зона «иловой пробки» в терминологии акад. А.П. Лисицына (1994)) представляет собой непреодолимую преграду для углеводородов, поступающих на акваторию Северного Каспия с волжским стоком. Концентрации УВ в

осадках на мористых станциях примерно на порядок ниже, чем в распресненной зоне.

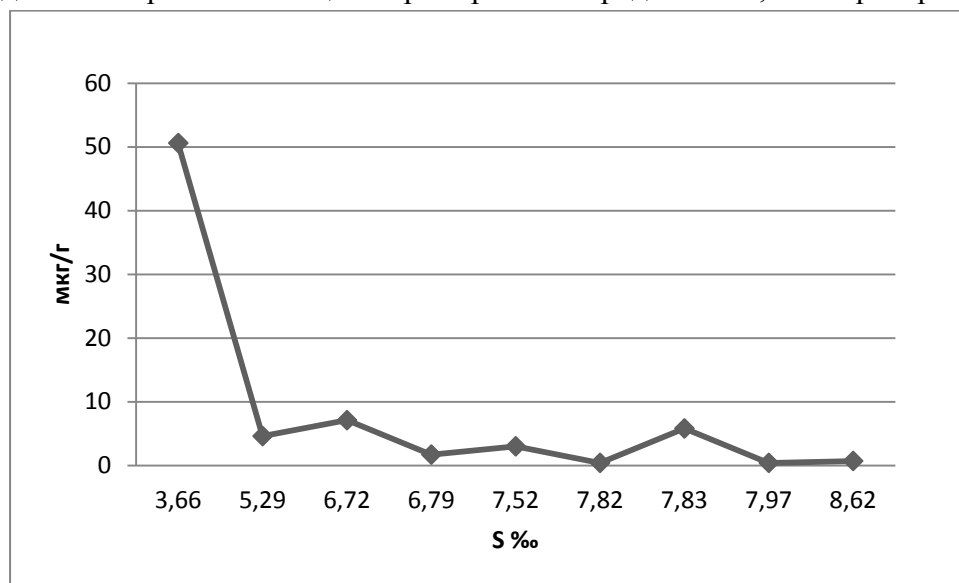


Рис. 2. Концентрация УВ в зоне смешения Северного Каспия, 2014 г.

Однако, как показывают данные 2012-2014 гг., снижение волжского стока УВ не привело к соответствующему снижению загрязнения ими морской среды Северного Каспия. Это свидетельствует о наличии источников УВ непосредственно на морской акватории. В целом, данные 2012-2014 гг. подтверждают смешанное происхождение УВ в этом районе, присутствие здесь петрогенных, пирогенных, биогенных УВ, отмеченное ранее в работах (Немировская, 2013; Проблемы качества, 2013).

Идентификация происхождения углеводородов на морских акваториях, подобных Каспийскому морю, – это сложная задача из-за наличия многочисленных антропогенных и природных источников. Последние включают нефтяные и газовые сипы на морском дне (Bezrodnykh et al. 2013), а также поступление в морскую среду углеводородов, продуцируемых биотой, которой чрезвычайно богата именно северная мелководная часть моря. Разложение биотой автохтонной и аллохтонной органики также приводит к выделению углеводородов (Немировская. 2013). К сожалению, использование только химических методов не дает полного ответа на вопрос об источнике загрязнения морской среды, поскольку даже с применением различных индексов и маркеров может лишь констатировать наличие УВ разного происхождения. Если в портовых или прибрежных акваториях разлив нефти может быть быстро обнаружен, и идентификация источника может быть вполне успешной при применении, например, методов «фингерпринтинга» (Wang, Fingas, 2003), то для открытых акваторий это практически невозможно из-за достаточно быстрого разрушения нефтяного пятна в морской среде. К тому же, химические методы бессильны отличить техногенный разлив нефти с платформы или танкера (особенно, если он небольшой) от выброса той же самой нефти из природного источника – сипа.

Частично эту проблему закрывает спутниковый мониторинг, проводимый, например, нефтяными компаниями на акватории Северного Каспия, который позволяет детектировать разливы нефти и нефтепродуктов, поступающие от морской нефтегазодобывающей инфраструктуры, судов и подводных природных источников по пленкам, образующимся на поверхности воды (Иванов, 2007). Однако и эти методы имеют свои ограничения, связанные с природными условиями, мешающими проведению корректного распознавания природы



обнаруженных пленок на космических снимках (Лаврова и др., 2011).

В этих условиях отсутствия метода прямой идентификации источников загрязнения углеводородами открытых акваторий морей, предлагается использовать комплекс методов, в том числе биологические и геологические исследования. Последние позволяют выявить и картировать районы высокой биологической продуктивности и активизации подводных источников нефти. В комплексе с химическими и дистанционными методами это позволит улучшить качество проводимого мониторинга загрязнения морской среды углеводородами.

Подводя итог, отметим, что имеющиеся данные указывают на достаточно высокий уровень загрязненности морской среды северо-западной части Каспийского моря углеводородами, несмотря на существенное снижение их поступления с волжским стоком в последнее десятилетие. Это свидетельствует, с одной стороны, о присутствии источников углеводородов непосредственно на морской акватории, что подтверждается данными космического мониторинга. С другой же стороны, остро ставит на повестку вопрос об отсутствии надежной методологии идентификации происхождения углеводородного загрязнения на акваториях морей, подобно Каспию, с высоким природным углеводородным фоном и комплексной антропогенной нагрузкой.

### **Список литературы**

1. Иванов А.Ю. Стики и плёночные образования на космических радиолокационных изображениях // Исследование Земли из космоса. 2007. № 3. С. 73–96.
2. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А. и др. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ, 2011. 470 с.
3. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология, 1994. Т 34, №5. С. 735-747.
4. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). Москва: Научный мир, 2013. 432 с.
5. Проблемы качества вод Нижней Волги и Северного Каспия. Москва: Россельхозакадемия, 2013. 300 с.
6. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря. М.: ГЕОС, 1998. 278 с.
7. Bezrodnykh Yu.P., Deliya S.V., Lavrushin V.Yu., Yunin E.A., Poshibaev V.V., Pokrovskii B.G. Gas seeps in the North Caspian water area. Lithology and Mineral Resources. 2013, no. 48(5), pp. 373–383.
8. Wang Z., Fingas M.F. Development of oil hydrocarbon fingerprinting and identification techniques. Marine Pollution Bulletin. 2003, no. 47(3), pp. 423–452.

## Неприливные колебания уровня Белого моря в синоптическом временном диапазоне.

**Кондрин Алексей Трофимович**

*Кафедра океанологии географического факультете МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва*

Рассмотрены колебания остаточного уровня моря (ОУМ) в синоптическом диапазоне временного масштаба. В этом диапазоне наблюдаются наиболее значительные – сгонно-нагонные – колебания ОУМ, которые определяются в основном метеорологическими причинами, такими как изменения приземного атмосферного давления (ПДА) и скорость ветра. Для получения ОУМ приливная составляющая, полученная с помощью гармонического анализа исходных рядов наблюдений, вычитается из последних. Полученные таким образом временные ряды содержат незначительные колебания на приливных частотах. Для полного исключения колебаний на приливных частотах был применен фильтр Баттерворта с частотой среза 0,04 ц/ч, соответствующей периоду 25 ч.

Основное внимание уделено изучению характеристик и особенностей формирования штормовых нагонов в Белом море на основании данных наблюдений на станциях, расположенных в Горле, Двинской Губе, Кандалакшском заливе и на Соловецком Архипелаге. Штормовые нагоны в Белом море возникают при прохождении глубоких циклонов, сформированных на Арктическом и Полярном климатических фронтах. Возмущения уровня происходят в результате действия трех факторов: изменений атмосферного давления, вызывающих статическую реакцию уровня моря согласно закону «обратного барометра», динамического воздействия на морскую воду движущихся барических систем и непосредственно ветрового воздействия.

Повышения или понижения ОУМ (около 0,2 м) благодаря собственно статической реакции происходят в тех случаях, когда Белое море длительное время находится в пределах обширных устойчивых областей пониженного или повышенного атмосферного давления (рис. 1)

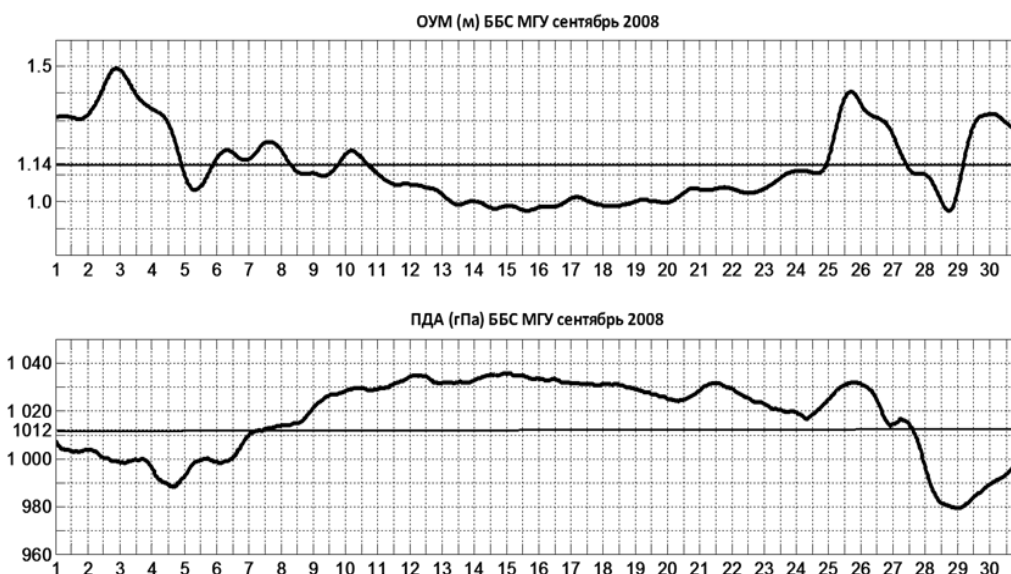


Рис.1. Статическая реакция ОУМ на изменения ПДА.

В ряде случаев проходящие циклоны генерируют в Баренцевом море барическую волну,

которая проникает в Белое море и индуцирует нагон. Гребень нагонной волны сначала проходит станцию Сосновец, примерно через 7 часов – Северодвинск, еще через 2 часа – Соловки. Высота нагона зависит от глубины циклона и скорости его движения. Наибольшая высота нагонной волны (0,9 м) наблюдалась 12 декабря 2013 при прохождении глубокого (960 гПа) циклона со средней скоростью 40 км/ч над акваторией Баренцева моря (рис. 2).

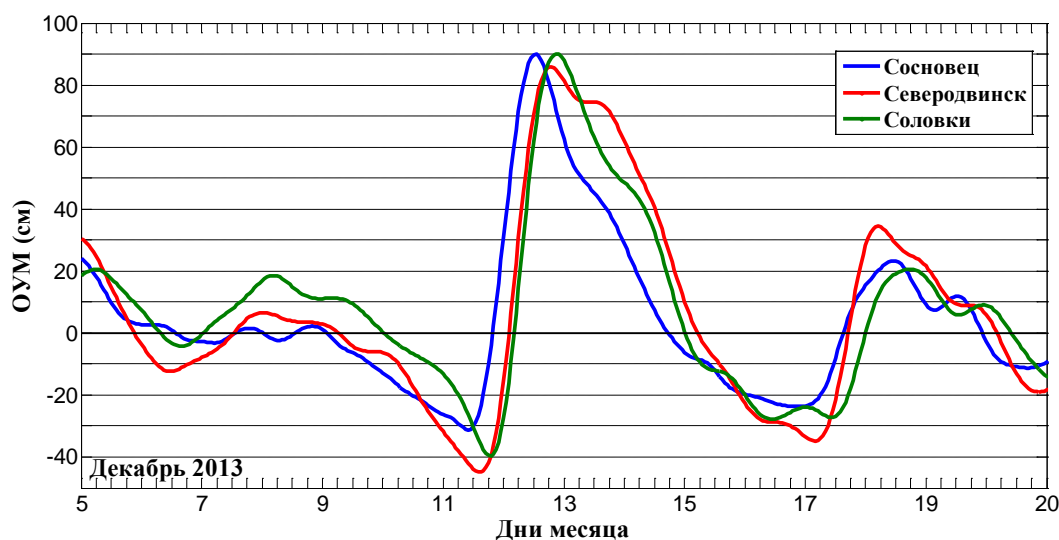


Рис.2. Волновой нагон 12 декабря 2013 г. Здесь и далее по вертикальной оси отложено отклонение ОУМ от среднемесячного значения в см.

При отсутствии существенного ветрового воздействия в акватории Белого моря, высота нагона при прохождении волны практически не изменяется. Коэффициент корреляции между среднесуточными значениями ПДА в центральной части Баренцева моря и ОУМ на станции Сосновец во время таких нагонов достигает величины  $-0,84$ . Такие ситуации возможны, если ко времени прихода нагонной волны Белое море находится вне породившей ее барической системы.

Ветровое воздействие приводит к трансформации волновых нагонов. С другой стороны, нагон может быть образован действием ветра без участия волновой составляющей. В наибольшей степени ветровой фактор проявился в Двинской губе, где 6 ноября 2010 и 15 ноября 2011 происходили наибольшие по высоте нагоны (в Северодвинске 1,08 м и 1,54 м, соответственно). Эти нагоны, при северо-западном ветре, возникли сначала в Двинской губе, а затем достигли других частей моря (рис. 3).

В зависимости от синоптической ситуации максимум нагона наблюдается в различной последовательности. При северо-западном ветре максимальный нагон формируется сначала в Двинской губе, а затем достигает других частей моря. При северо-восточном ветре повышение ОУМ возникает сначала у юго-западного берега (Соловки).

В большинстве рассмотренных случаев вклад сил давления был основным (64% и более от измеренной высоты нагона). При прохождении циклонов над акваторией Белого моря при его малой средней глубине важную роль играет динамическая составляющая реакции океана на движущееся возмущение ПДА (коэффициент динамического усиления  $\mu = 1,3-2,0$ ). Лишь при формировании отмеченных выше ветровых нагонов в Двинской губе вклад сил давления был относительно невелик (30-40%).

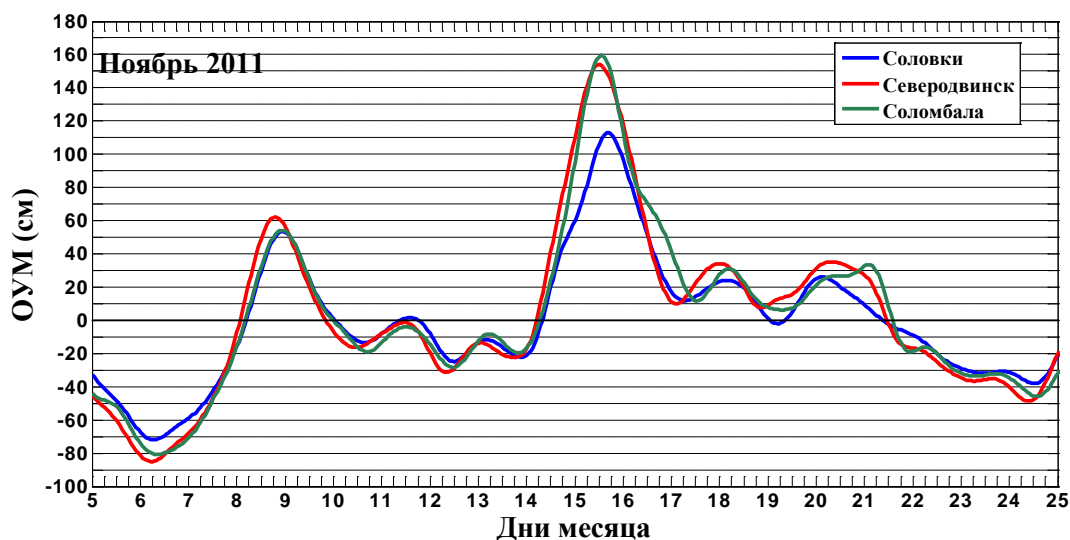


Рис. 3. Колебания ОУМ в ноябре 2011 г.

Перед нагоном, как правило, наблюдался сгон. Самый значительный из них произошел 6 ноября 2011, когда на станции Северодвинск ОУМ опустился ниже среднего значения на 0,8 м. Во время нагона 15 ноября 2011 при величине преднагонного сгона -0,30 м перепад уровня достиг величины 1,84 м.

Ключевые слова: остаточный уровень моря, Белое море, статическая реакция уровня моря, уединенная нагонная волна, относительный вклад сил давления и ветра, синоптические условия.

**Предварительные результаты гидролого-гидрохимических исследований в прибрежной зоне Воронки Белого моря и ЮВ части Баренцева моря.**

**Д.Д.Бадюков<sup>1</sup>, О.М.Горшкова<sup>1</sup>, К.А.Чевель<sup>1</sup>, А.Л.Гвоздев<sup>2</sup>, В.А.Мельникова<sup>2</sup>, Н.В.Шабалин<sup>2</sup>**

*1 – Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова*

*2 – Центр морских исследований МГУ имени М.В.Ломоносова*

*[danilab49@mail.ru](mailto:danilab49@mail.ru), [gorshk@yandex.ru](mailto:gorshk@yandex.ru)*

Во время второго этапа рейса НИС «Картеш» в 2016 г. (Архангельск – Нарьян-Мар) были проведены гидролого-гидрохимические наблюдения с борта судна и отобраны пробы воды с поверхности для дальнейшей лабораторной обработки. Наблюдения проводились с 29 июня по 6 июля 2016 г. В прибрежной зоне Воронки и ЮВ части Баренцева моря выполнено восемь станций и отобрано 20 проб воды с поверхности, 12 из них отбирались на ходу судна и обозначены цифрой с буквой. На станциях проводились измерения с помощью многопараметрового зонда YSI 650QS по вертикали таких параметров как температура воды, удельная электропроводность, общая минерализация, соленость, растворенный кислород, величина рН. Глубины вертикалей, в основном, не превышали 10-15 м, наибольшая была у берегов Новой Земли (м.Саханина) – 30 м. Местоположение станций было связано с основной задачей рейса – обследованием берегов и фотосъемкой. Станции и точки отбора проб воды представлены на рис.1. Анализ диаграмм показал квазиоднородность прибрежных вод в начале летнего периода, лишь на станции 8 (м.Лямчин) отмечено наличие термоклина.

Диапазон изменений температуры довольно велик. Максимальная температура воды на поверхности отмечена у мыса Лямчин – +13,35<sup>0</sup>С (ст.8), а минимальная - у мыса Саханина - +8,58<sup>0</sup>С (ст.7). Максимальное значение температуры придонной воды отмечается у пос.Шойна (ст.2) на глубине -10,8 м (+11,81<sup>0</sup>С), а минимальное на глубине -30 м у м. Саханина - +2,79<sup>0</sup>С.

Наибольший диапазон изменения солености по вертикали наблюдается у м.Саханина – 1,8‰, что при глубине вертикали -30 м и учитывая положение станции 7 вполне ожидаемо. На этой же глубине наблюдается и максимальная соленость – 31,01‰. Минимальная соленость отмечена на ст.8 (м.Лямчин) на поверхности – 22,28‰. В среднем же диапазон изменений солености по вертикали на остальных станциях не превышает десятых долей промилле.

Значения концентрации растворенного кислорода варьируют в диапазоне от 3, 01 мг/л при насыщении 28,9% на глубине -14 м у м.Саханина до максимального значения 13,41 мг/л при насыщении 137,9% на глубине -2 м у м.Канин Нос (ст.3).

В лаборатории кафедры рационального природопользования географического факультета МГУ проведена обработка проб воды, доставленных в замороженном виде. Определено содержание нефтепродуктов (НП), анионоактивных поверхностно-активных веществ (АПАВ), неорганических соединений азота и минеральных форм фосфора [1,2]. Концентрация растворенного органического вещества морской воды оценена по оптической плотности при длине волны 260 нм, цветности и сумме растворенных гуминовых кислот [1,2]. Рассчитан коэффициент относительной эвтрофности для всех проб воды  $[NH_4^+]/[NO_3^-]$ , [3]. Сделаны выводы о качестве прибрежных вод.

Антропогенное влияние на качество морской воды оценивали по превышению фоновой концентрации таких загрязняющих веществ, как нефтепродукты (сумма углеводородов) и



АПАВ. Фоновая концентрация углеводородов для поверхностных вод данной морской акватории составляла 0,013 мг/л. Гистограммы изменения концентраций углеводородов (потенциальных нефтепродуктов) в поверхностной воде от точки 1 у острова Моржовец до точки 8Е у входа в Паханческую губу изображены на рис.2.

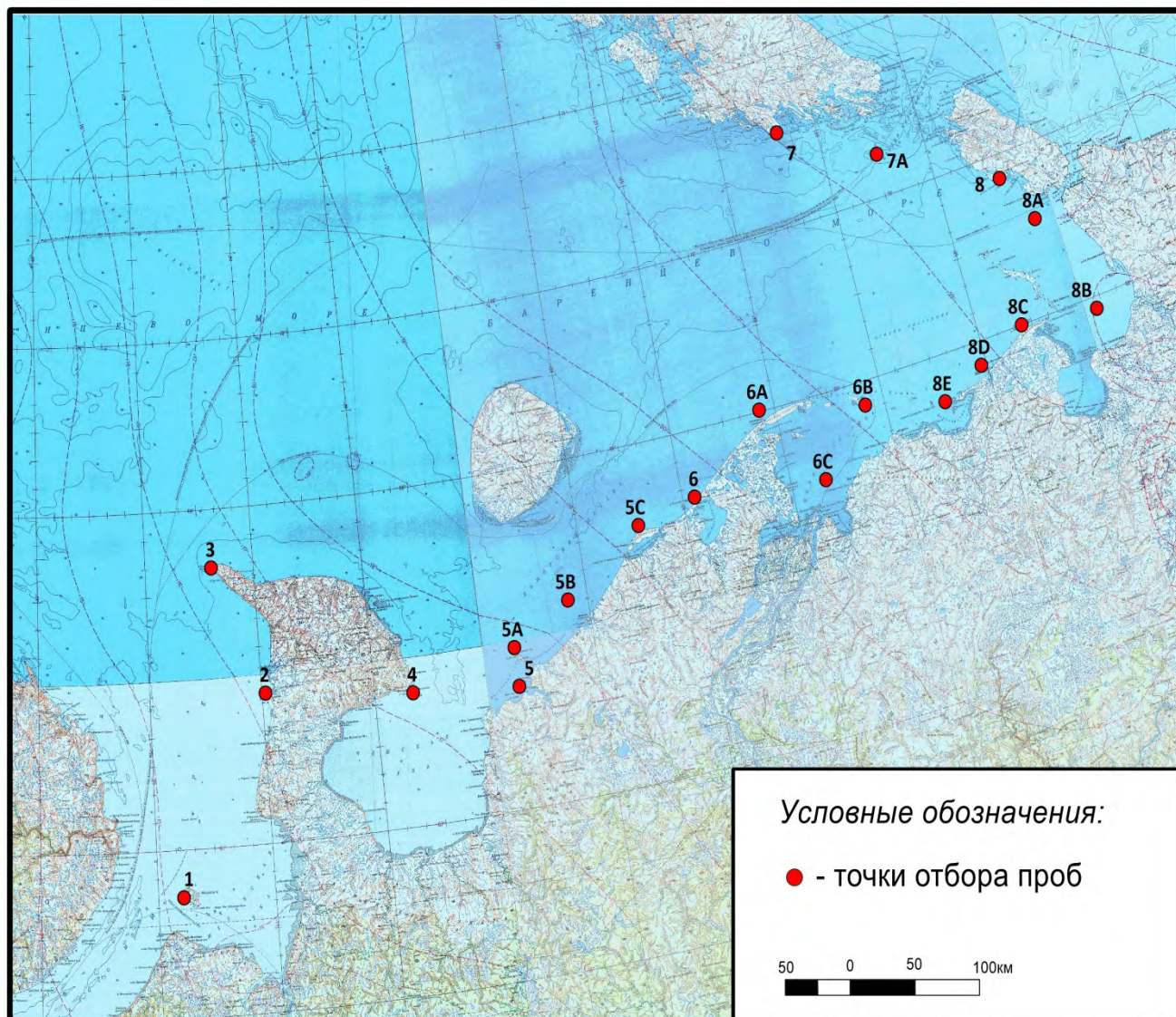


Рис. 1. Карта отбора проб поверхностных вод второго этапа рейса НИС «Картеш».

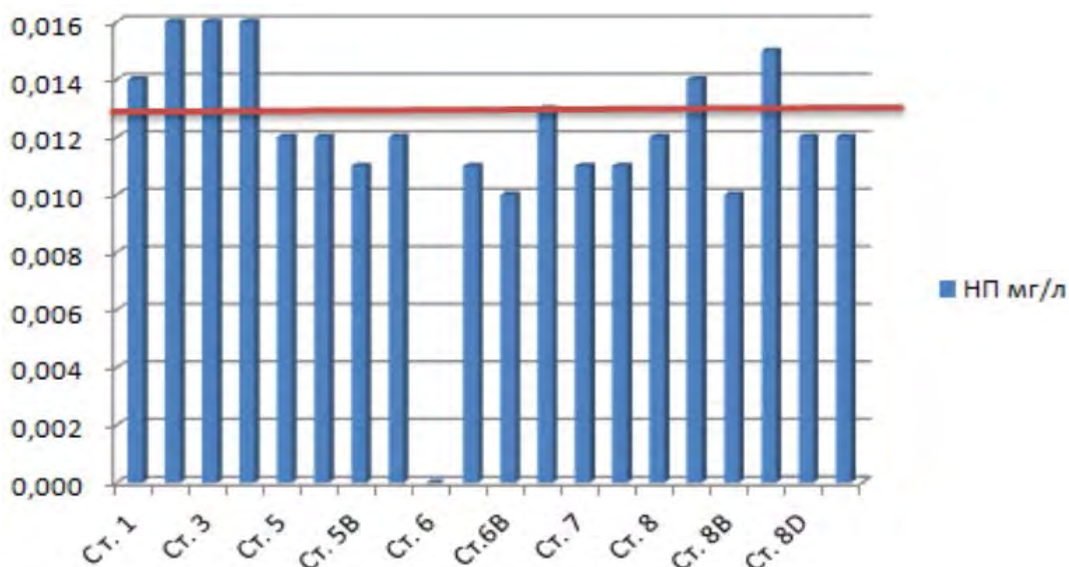


Рис. 2. Нефтепродукты (сумма углеводородов) в пробах поверхностных вод второго этапа рейса НИС «Картеш».

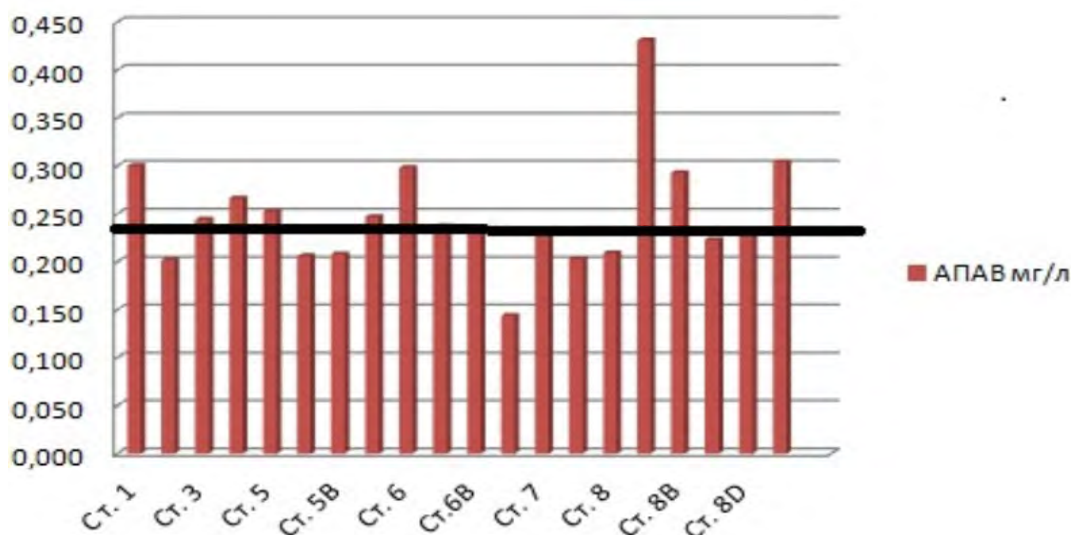


Рис.3. АПAB в пробах поверхностных вод второго этапа рейса НИС «Картеш».

Следует отметить, что превышение фона отмечено для точек 1-4 на выходе из акватории Белого моря и в районе точек 8 – 8с от мыса Лямчин к поселку Варандей, на траверзе платформы Приразломная. При анализе содержания АПAB в поверхностных водах (гистограмма на рис.3) выявлено довольно высокое их содержание во всех пробах воды и минимальное в точке 6С в Печерской губе, где, согласно изменениям других гидрохимических параметров, вероятно не только разбавление загрязнения АПAB, но и частичное коагулирование в зонах, пограничных геохимическому барьеру маргинального фильтра «р.Печера –Печерская губа». Превышение фона АПAB (0,24 мг/л) отмечено в районах о. Моржовец и поселка Топседа и в точках 8А, 8В, 8Е в юго-восточной части Печерского моря.



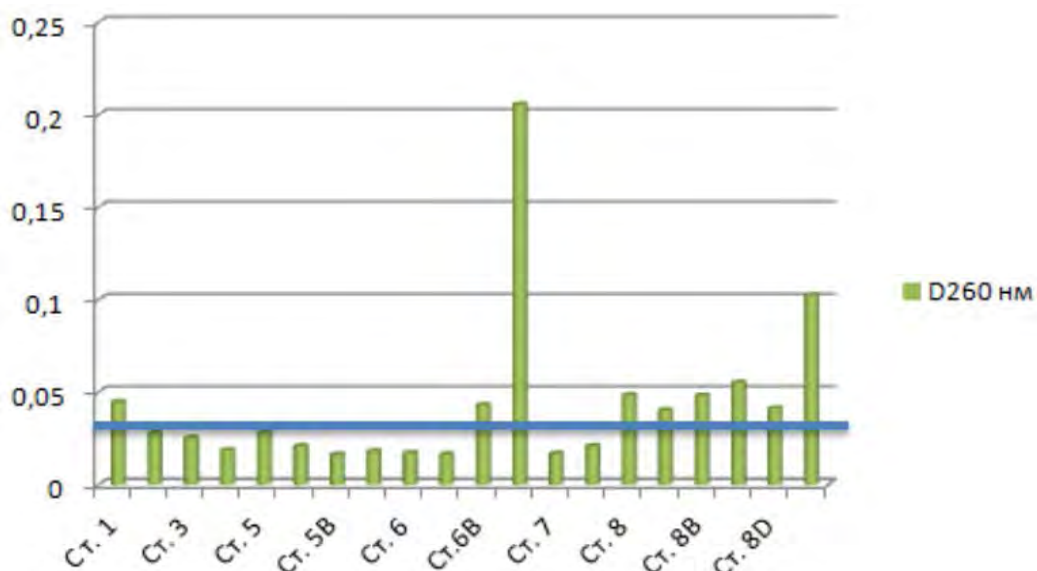


Рис.4. Растворенное органическое вещество в пробах поверхностных вод второго этапа рейса НИС «Картеш».

По содержанию растворенного органического вещества все пробы морской воды существенно отличались от пробы 6С – «Печерская губа», где наблюдались высокие значения цветности, концентрации гуминовых кислот и оптической плотности при длине волны 260 нм, что характерно для речной воды р. Печора. В районе буровой платформы «Приразломная», точка 8Е также наблюдалось повышение концентрации растворенного органического вещества (рис.4.).

Концентрации биогенных веществ (неорганические формы азота и Р минеральный) и коэффициент эвтрофности меняются при переходе от морской воды к пресной (Печерская губа, т.6С). Для точек 8 – 8Е (юго-восточная часть Печерского моря) следует отметить увеличение концентрации фосфора минерального и увеличение коэффициента относительной эвтрофности, что связано с дополнительной антропогенной нагрузкой на экосистему акватории.

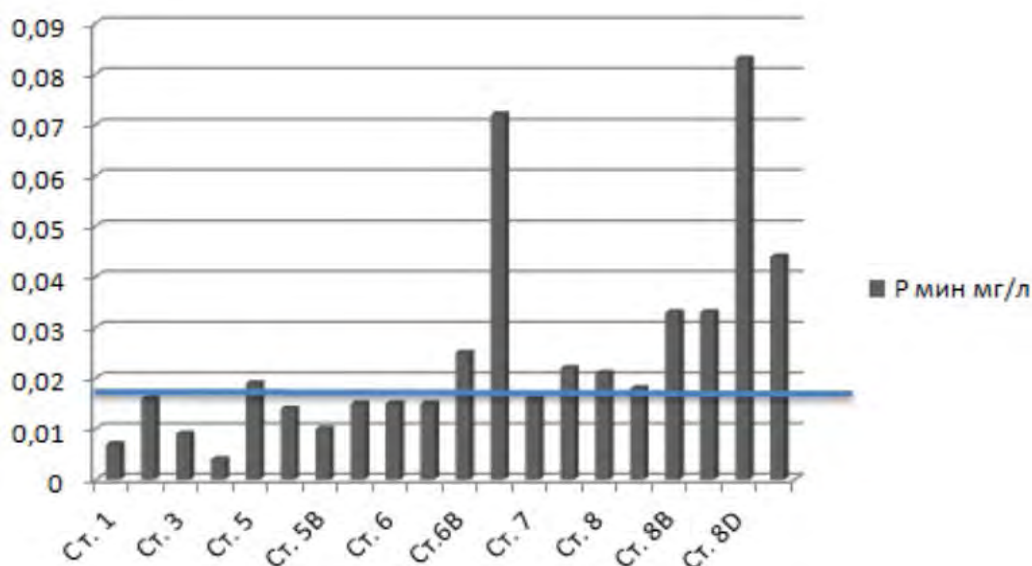


Рис. 5. Фосфор минеральный в пробах поверхностных вод второго этапа рейса НИС «Картеш».



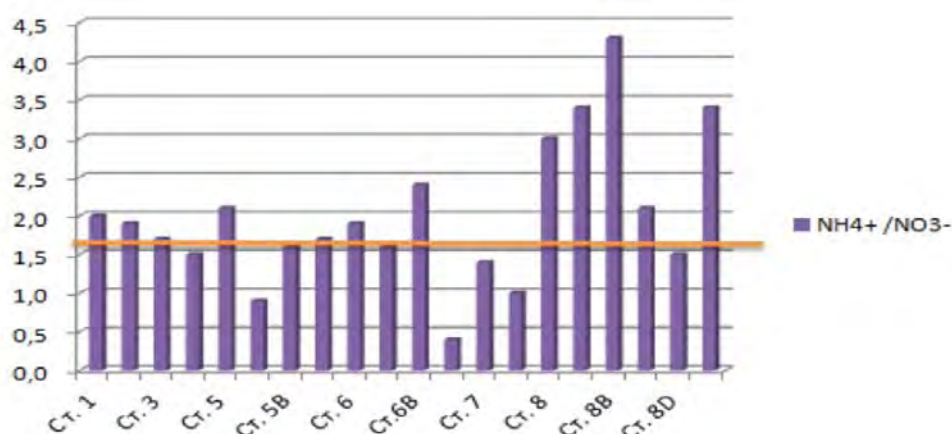


Рис.6. Относительный коэффициент эвтрофности в пробах поверхностных вод второго этапа рейса НИС «Картеш».

В целом, анализируя полученные результаты гидрохимических параметров для проб поверхностных вод, отобранных вдоль побережья Воронки Белого моря и в юго-восточной части Баренцева моря, можно сделать выводы об антропогенном влиянии и ухудшении качества поверхностных вод Воронки Белого моря на выходе в Баренцево море и в юго-восточной части Печерского моря.

Следует также отметить высокое содержание АПАВ во всех пробах морской воды. Для алкилсульфонатов ПДКр составляет 0,5 мг/л, но для некоторых компонентов моющих средств, в состав которых входят АПАВ, ПДК может быть 0,1 – 0,05 мг/л. Средняя концентрация АПАВ для изученных проб морской воды составляет - 0,24 мг/л. В целом, высокие концентрации АПАВ в исследованных пробах воды свидетельствуют о существенном влиянии сточных вод на качество морской воды, что особенно опасно для исследуемой арктической акватории.

### Список литературы

1. Измерение массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ флуориметрическим методом в пресной воде. 2011 г. МУК 4.1.070-2011 разработаны: НПФ "Люмэкс", Санкт-Петербург (Гладилович Д.Б., Волосникова Е.А., Илюхин А.В., Клиндухов В.И., Крашенинников А.А., Фирюлина В.В., Папков К.Б.); Московским НИИ Гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана (Юдина Т.В., Егорова М.В., Федорова Н.Е.).
2. Методы лабораторных и полевых исследований: Учебно-методическое пособие / Горшкова О.М., Горецкая А. Г., Корешкова Т.Н., Краснушкин А. В., Марголина И. Л., Потапов А. А., Пращикина Е. М., Шкиль А.Н.; Под ред. М. В. Слипенчука. 3-е изд. М.: Географический факультет МГУ, 2015. 220 с.
3. Плешакова Г.В., Краснушкин А.В., Горшкова О.М., Буракина Е.П Оценка загрязнения р. Москвы по данным мониторинга поверхностных вод. Водные экосистемы, организмы и инновации - 7. Материалы Международной научной конференции 2005г., М., МАКС Пресс , 2006,..с.88

*Авторы благодарят сотрудников лаборатории кафедры рационального природопользования географического факультета МГУ - И.А.Чернову и Т.Н.Корешкову за создание карты и помощь в выполнении анализов проб воды.*

**Preliminary results of hydrologic-hydrochemical researches in the coastal area of the Crater of the White Sea and the SouthEast part of the Barents Sea**

Badyukov D.D.<sup>1</sup>, Gorshkova O.M.<sup>1</sup>, Chevel K.A.<sup>1</sup>, Gvozdev A.L.<sup>2</sup>,  
Melnikova V.A.<sup>2</sup>, Shabalin N.V.<sup>2</sup>

*1 – Geographical faculty of M.V.Lomonosov Moscow State University,*

*2 - Centre for marine studies of M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,  
[danilab49@mail.ru](mailto:danilab49@mail.ru), [gorshk@yandex.ru](mailto:gorshk@yandex.ru)*

In the coastal zone of the Crater White Sea and the SE part of the Barents Sea during a cruise of the RV "Kartesh" in 2016 were sampled and analyzed water samples from the surface. Conclusions about anthropogenic influence on surface water in the Crater of the White Sea outlet in the Barents Sea and in the SE part of the Pechora Sea were made.

**Оценка потенциала волновой энергии для российского сектора Черного моря.  
Столярова Е.В., Мысленков С.А., Гиппиус Ф.Н.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва*

Энергетический потенциал энергии ветровых волн достаточно велик. Волновая энергия обладает более высокой по сравнению с ветром и солнцем плотностью энергии. Морские волны накапливают в себе энергию ветра на значительном пространстве разгона. Они являются, таким образом, природным концентратом энергии. Еще одно достоинство волнения – его повсеместность, благодаря чему оно доступно широкому кругу прибрежных потребителей. Недостаток волновой энергии заключается в ее нестабильности во времени, зависимости от ледовой обстановки, сложности преобразования и передачи потребителю.

Проектирование конкретной волновой установки или системы для конкретной акватории требует проведения оценки потенциала волновой энергии. Развитие средств математического моделирования и метеорологических реанализов позволяет в настоящее время осуществлять не только общие оценки волновой энергии на основе осредненных по большой акватории характеристик волнения, но и расчеты для отдельных точек и ограниченных участков заданной акватории с учетом сезонных вариаций характеристик волнения. В представленной статье рассматриваются методы оценки ресурсов волновой энергии и приведены некоторые первичные результаты, полученные в приложении к прибрежным акваториям России.

Для изучения особенностей ветрового волнения у южного берега Крыма была использована база данных ветрового волнения Черного моря. В ее основу легли результаты численных расчетов параметров ветрового волнения с использованием спектральной модели ветрового волнения третьего поколения SWAN. Для этого была создана нерегулярная сетка с пространственным разрешением 10-15 км на глубокой воде и до 500 метров в прибрежных районах, общее количество узлов 31565 (Рис.1.). В качестве входных данных использовался реанализ высокого разрешения NCEP-CFSR (1979-2015). В базе данных содержатся: значительная высота волны, период, длина, высота зыби и транспорт волновой энергии.

Для каждого месяца в пределах расчетного периода (1979-2015 гг.) были подсчитаны среднемноголетние значения интегрального переноса энергии, превышающие заданные значения. В итоге получена среднемесечная продолжительность времени, когда энергия волн превышала эти значения. Было выбрано три контрольных точки в западной, восточной и южной частях акватории у п-ва Крым (Рис.2.). В анализируемых точках максимальная удельная энергия (более 5000 Вт/м фронта волны) наблюдается в основном в зимние периоды (Рис. 2). Однако, в зимние месяцы также встречаются дни, когда волнение отсутствует, поэтому превышение 500 Вт/м наблюдается только в 20-25 днях из месяца (Рис.2). Полученные результаты позволяют утверждать, что существенные значения удельной мощности волнения (болеем 1000 Вт/м) можно получать только в 50% времени зимних месяцев. В остальные дни потенциал волной энергии небольшой. В летний период более 30% времени энергия волн не превышает 500 Вт/м. Это связано с низкими скоростями ветра и отсутствием волнения летом, что является нормой для этого района.

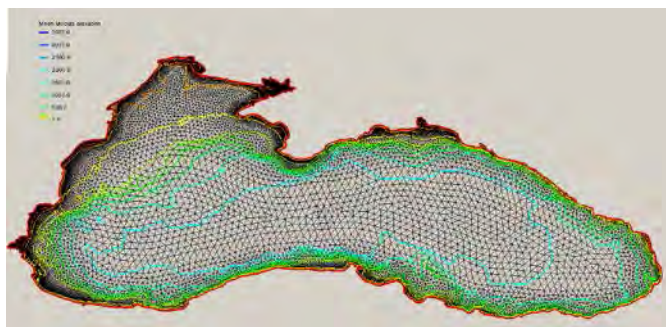
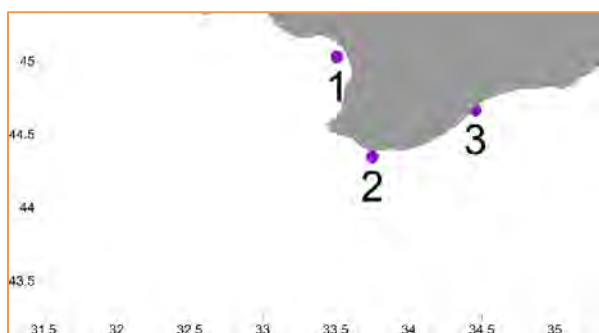


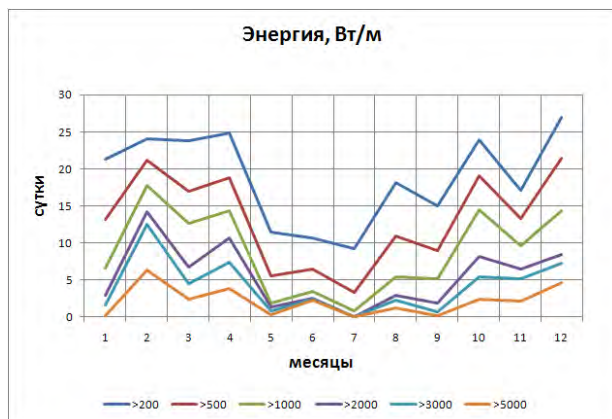
Рис.1. Расчётная сетка для акватории Черного моря(а) и южного берега Крыма(б).



1.



2.



3.

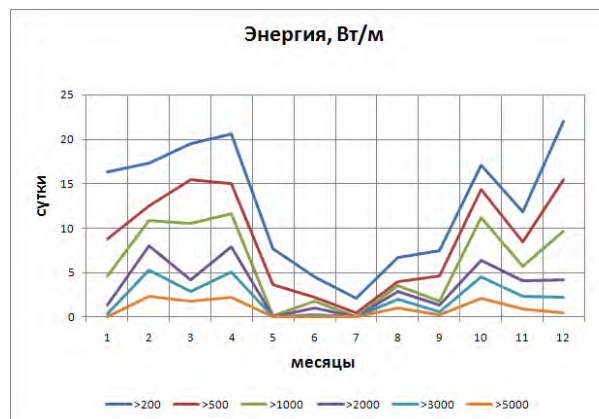


Рис.2. Точки, для которой были проведены расчеты энергетических характеристик волнения и обеспеченность волновой энергией (Вт/м) в данных точках.

Интересно также рассмотреть пространственную неоднородность распределения транспорта энергии. На рис.4 представлено распределение среднегодовой обеспеченности волновой энергией более 200, 1000 и 5000 Вт (в %) для акватории Черного моря и южного берега Крыма для 1979 года (Рис.3.). Как видно из рисунка 3, акватории, примыкающие к западному побережью Крыма, характеризуются более значительным волнением, чем восточные акватории, что связано с юго-западным ветром, генерирующим распространение волнения в северо-восточном направлении. Набор таких карт или карты распределения среднемноголетнего потока энергии могут быть использованы для выявления более перспективных для размещения волновых энергетических установок акваторий.

Таким образом, с использованием модели ветрового волнения третьего поколения SWAN и данных реанализа NCEP/NCAR были проведены оценки характеристик волнения в заданной точке акватории Черного моря, оценена сезонная динамика повторяемости значительных высот волн. Показано, что максимальной волновой энергией характеризуется зимний период: в январе и декабре порядка 23 суток в месяц энергия волн превышает 500 Вт/м волнового фронта, в летние месяцы указанная продолжительность падает до 8 суток.

Работы выполнены при поддержке грантов РФФИ № 16-08-00829 (расчеты параметров волнения в прибрежной зоне) и РФФИ № 16-35-00488 (создание расчетных сеток).

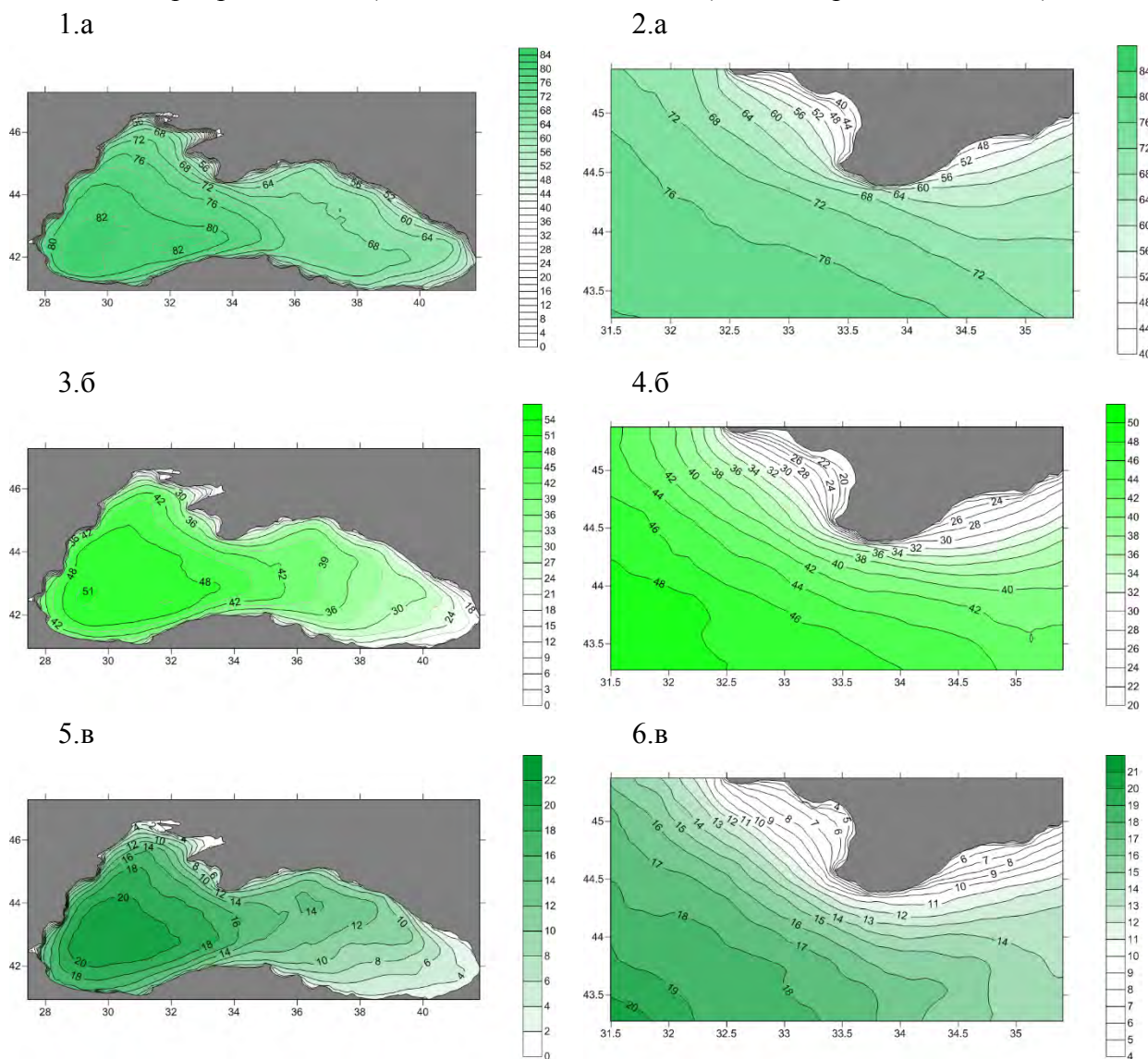


Рис.3. Обеспеченность волновой энергией (в %) более 200 (а),1000(б), 5000(в) Вт для акватории Черного моря (1,3,5) и южного берега Крыма (2,4,6).

**Системный анализ гидрологических структур морских вод и его применение в исследовании термохалинных полей Северной Атлантики. Соколов В.А.**

*ГОИИ*

На примере исследования климатической изменчивости полей температуры –  $T$  и солёности –  $S$ , происходящих в крупномасштабных динамических структурах Северной Атлантики, излагаются принципы системного анализа изменчивости во времени и пространстве структурных образований в морских гидрологических полях. Предлагаемый аппарат анализа позволяет за счёт перехода из пространства географических координат, где проводились измерения гидрологических величин, в координаты пространств этих величин (пространства состояний гидрологических величин) решать задачи:

- фильтрации временной изменчивости наблюдаемых величин в пространстве географических координат;
- изменения в пространстве географических координат статистических характеристик исследуемых величин в анализируемых гидрологических структурах, не имеющих в этом пространстве чётких границ;
- тестирования на вероятность реализации в природе расчётных значений гидрологических полей, полученных в результате их интерполяции или циркуляционного моделирования.

Использование предлагаемого аппарата анализа позволило выявить сезонные климатические закономерности в изменениях термохалинных полей Северной Атлантики на интервалах осреднений 1942-1976, 1977-1998, 1999-2013 г , коррелирующие с изменениями климата на Евразийском регионе.



**Долгопериодные изменения термохалинной структуры и циркуляции вод тропической Атлантики.**

**Миронов Илларион Александрович, Демидов Александр Николаевич**

*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова/ МГУ имени М.В. Ломоносова*

**Целью работы** было сравнить распределение численных значений модельных параметров на реальных океанологических разрезах. В работе рассматривались данные трех современных океанологических моделей: SODA 2, ORA S4 и ECCO 2 – и данные реальных океанических разрезов в Атлантическом океане на 24° с.ш. и 24° ю.ш. На 24° с.ш. реальные данные были взяты за 1992, 1998 и 2010 годы, на 24° ю.ш. – за 1958, 1983 и 2009 годы. По данным каждой из моделей были рассчитаны значения межгодовых изменений на стандартных разрезах. Сравнив полученные значения с действительной тенденцией на разрезах, были сделаны выводы о точности воспроизведения моделями реальных изменений основных параметров водных масс. По данным моделей были так же рассчитаны переносы водных масс и тепла, средние за десятилетия значения температуры и солёности.

В результате сравнения распределения численных значений модельных параметров на реальных океанологических разрезах по 24° с.ш. и 24° ю.ш., было установлено, что ни одна из рассмотренных моделей (SODA 2.2.4, ORA S4 и ECCO 2) полностью не воспроизводит реальные изменения основных параметров водных масс. При том, что в работе был рассчитан меридиональный градиент и отдельно отмечена важность его определения из-за несовпадения положения разрезов. В отдельных случаях значение этого градиента сопоставимо со значением изменения температуры и солёности, или даже превышает его.

Для основных течений и водных масс на разрезах были отмечены тенденции к изменению термохалинных характеристик.

Для Гольфстрима по данным реальных разрезов с учетом меридионального градиента наблюдается уменьшение температуры и солёности в период с 1992 по 2010 год, для Бразильского течения – увеличение в период с 1958 по 2009 год. Важно отметить, что значительное влияние на эти тенденции оказывает сезонная изменчивость, которая здесь не учитывается.

Для Антарктической промежуточной водной массы за те же промежутки времени характерно похолодание и опреснение на 24° с.ш., а на 24° ю.ш. температура увеличилась, значимых изменений солёности не произошло.

Для Северо-Атлантической глубинной водной массы за рассматриваемый период наблюдений характерно похолодание и опреснение на обоих разрезах.

В Антарктической донной водной массы наблюдается похолодание на обоих разрезах, распреснение – на северном разрезе и осолонение – на южном. При сравнении реальных значений изменений параметров ААДВ с данными моделирования важно учитывать погрешность, связанную с различием в построении рельефа дна.

Важным результатом работы послужили расчеты по реальным и модельным данным нормированных за 30 лет изменений солёности и температуры, которые были выполнены для основных водных масс, а также Гольфстрима и Бразильского течения. Ниже приведены в пример таблицы с результатами подобных расчетов для ААДВ и САГВ.

ААДВ		По разрезам		ECCO 2		SODA 2		ORA S4		по разрезам с учетом меридионального градиента *	
		T/30 (C)	S/30 (епс)	T/30	S/30	T/30	S/30	T/30	S/30	T/30	S/30
24° с.ш.	1992-1998	-0,090	-0,019	+0,033	+0,004	+0,014	+0,001	-0,020	-0,004	-0,096	-0,020
	1998-2010	+0,007	-0,001			-0,003	-0,001	-0,029	-0,008	+0,007	-0,001
24° ю.ш.	1958-1983	-0,053	+0,018			+0,008	0	+0,010	+0,005	-0,065	+0,017
	1983-2009	+0,002	-0,011			+0,008	+0,002	+0,015	-0,002	-0,002	-0,009

САГВ		По разрезам		ECCO 2		SODA 2		ORA S4		по разрезам с учетом меридионального градиента *	
		T/30 (°C)	S/30 (епс)	T/30 (°C)	S/30 (епс)	T/30 (°C)	S/30 (епс)	T/30 (°C)	S/30 (епс)	T/30 (°C)	S/30 (епс)
24° с.ш.	1992-1998	+0,015	-0,005	-0,059	-0,004	+0,021	+0,003	-0,087	-0,015	+0,009	-0,006
	1998-2010	-0,036	-0,007			+0,044	+0,009	-0,016	+0,004	-0,036	-0,007
24° ю.ш.	1958-1983	+0,009	+0,001			+0,004	0	+0,010	+0,005	-0,011	-0,002
	1983-2009	-0,027	-0,004			-0,018	0	+0,024	0	-0,027	-0,004

Отдельно были получены тенденции изменения переносов массы и потоков тепла по данным моделирования за период с 1958 по 2009 год. Из полученных тенденций следуют выводы, что в последние десятилетия уменьшается перенос массы и поток тепла в Гольфстриме. Перенос Северо-Атлантической глубинной водной массы также уменьшается, но поток тепла остается неизменным. В Бразильском течении изменение переноса массы в период с 1958 по 2010 год не наблюдается, поток тепла незначительно увеличивается в южном направлении. В общем, на 24° с.ш. наблюдается уменьшение потока тепла и массы и в северном направлении, на 24° ю.ш. – увеличение.

Всего, за период с 1958 по 1965 год поток массы в Гольфстриме снизился на 10-15%, поток массы САГВ – на 10-15 % на северном разрезе и на 2-5 % – на южном.

Перенос Антарктической промежуточной водной массы уменьшился примерно на 10%, а перенос Антарктической донной водной массы не изменился в период с 1958 по 2009 год.

В общем, из трех рассматриваемых моделей наиболее объективные значения переносов воспроизводит модель ORA S4. ECCO 2 правильно показывает тенденцию на южном разрезе, а на северном имеет ошибку в расчете меридиональной составляющей скорости, и, как следствие, ошибку в вычисленных переносах массы и тепла.

Материалы данной работы могут послужить вкладом в дело изучения Атлантического океана и, в частности, особенностей его моделирования. По данным, полученным в работе, можно судить об ошибках моделей при воспроизведении термохалинной изменчивости отдельных водных масс и течений.

## **Проявления событий Ла-Нинья в гидрометеорологических условиях Атлантико-Европейского региона.**

**Марчукова Олеся Владимировна, Воскресенская Елена Николаевна, Лубков**

**Андрей Сергеевич**

*ФГБНУ «Институт природно-технических систем», г. Севастополь.*

Эль-Ниньо—Южное Колебание (ЭНЮК) представляет собой квазипериодическое колебание температуры поверхности океана (ТПО) в экваториальной части Тихого океана [1, 2] и включает в себя два эпизода: теплый (Эль-Ниньо) и холодный (Ла-Нинья). ЭНЮК вызывает огромный интерес, как ученых, так и специалистов разных областей деятельности из-за своих глобальных климатических воздействий на окружающую среду, сопровождающихся негативными последствиями. Исследование глобального отклика на ЭНЮК в гидрометеорологических аномалиях по всему Земному шару – является одной из самых актуальных тем изучения взаимодействия океана и атмосферы. Атлантико-Европейский регион достаточно чувствительно реагирует на сигналы этого феномена. Более подробно о влиянии событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья на циркуляцию атмосферы в данном регионе изучалось в работах [3-6]. В исследованиях [4, 6] был сделан акцент на то, что в годы Ла-Нинья происходит более выраженная изменчивость циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском регионе, по сравнению с годами Ла-Нинья.

События Ла-Нинья, как правило, характеризуются экстремальным понижением ТПО, ростом индекса Южного Колебания и усилением пассатных ветров в экваториальной зоне Тихого океана. Несмотря на общепринятый механизм описания этих событий, в работах [6-8] было показано, что существуют различия в самих Ла-Нинья. Поэтому *цель* настоящей работы – уточнить ранее проведенную классификацию событий Ла-Нинья и на ее основе установить закономерность влияния разных типов Ла-Нинья на формирование погодно-климатических аномалий в Атлантико-Европейском регионе с 1914 по 2014 гг.

В работе использовались следующие массивы: данные приземного давления и температуры воздуха реанализа 20 столетия (20th Century Reanalysis V2c) с шагом сетки  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ , за период 1871-2015 гг.; данные температуры поверхности океана HadISST, подготовленные в Метеорологическом офисе Гадлея (Великобритания) с шагом сетки  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ . Дополнительно анализировались также данные ТПО массивов COBE SST2 (Японское метеорологическое агентство) с разрешением  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  и ERSST V4 (Национальное управление океанических и атмосферных исследований, США) с пространственным разрешением сетки  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ .

Для классификации событий Ла-Нинья был выбран иерархический метод кластерного анализа, где разделение проходило с учетом двух характеристик: значений аномалий ТПО в каждой точке пространства в период максимальной фазы развития Ла-Нинья и координат места локализации холодной аномалии в экваториальной части Тихого океана. Таким образом, было получено два типа Ла-Нинья, отличающихся формированием максимально-отрицательной аномалии в период пика развития относительно пространства. Первый тип получил название Центрально-Тихоокеанский (ЦТ), так как его максимальная аномалия формировалась в центрально-экваториальной части Тихого океана, а второй – Восточно-Тихоокеанский (ВТ) – формирование его максимально-отрицательной аномалии локализовалось на востоке.

Исследование откликов в Атлантико-Европейском регионе было выполнено с помощью

метода анализа композитов с учетом статистической значимости для двух основных гидрометеорологических характеристик – приземного давления и температуры воздуха. Композиты строились для каждого месяца с декабря 0-го года по ноябрь +1 года для 7 событий Ла-Нинья ВТ типа и 12 событий Ла-Нинья ЦТ типа с 1914 по 2014 гг.

Самый сильный сигнал в Атлантико-Европейском регионе в периоды Ла-Нинья был отмечен в зимний период с декабря по март. Выявлено, что, как правило, максимальная фаза для ВТ типа Ла-Нинья приходится на октябрь-декабрь, а для ЦТ типа – на ноябрь-январь. Через дальнедействующие связи отклик на холодный эпизод ЭНЮК в Атлантико-Европейском регионе становится заметным с начала фазы максимального развития холодной аномалии ТПО в Тихом океане. Поэтому в контексте данной работы, на рисунках 1 и 2 представлены два месяца, январь и февраль, для ВТ и ЦТ типов Ла-Нинья, как для двух месяцев с ярко-выраженными гидрометеорологическими аномалиями и демонстрирующими различия в климатических последствиях двух разновидностей Ла-Нинья.

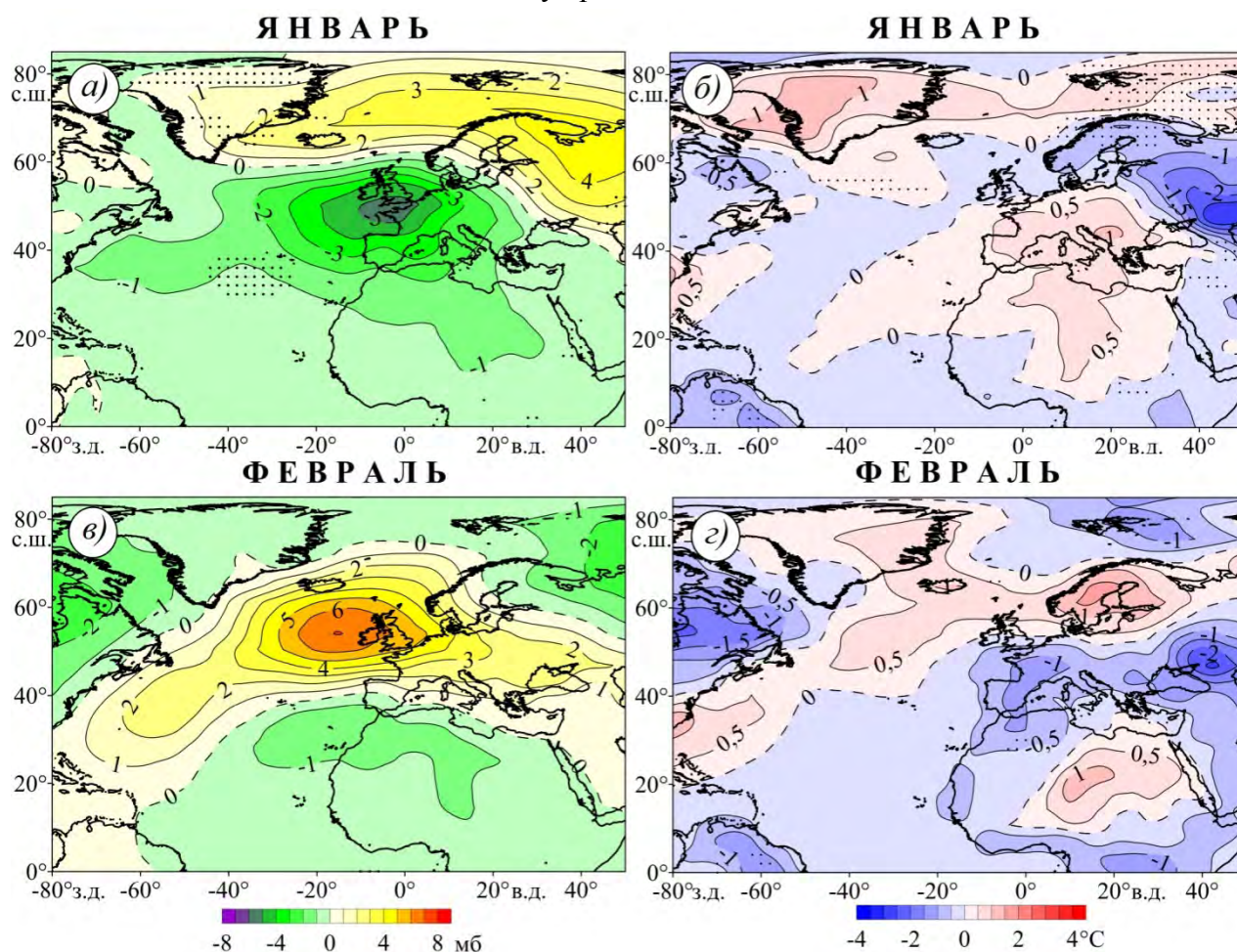


Рис. 1. Композиты аномалий приземного давления (а, в) и композиты аномалий температуры воздуха (б, г) в годы событий Ла-Нинья Восточного типа по данным реанализа 20 столетия. Точками отмечена статистическая значимость на 95% уровне

При *Восточном типе Ла-Нинья* в декабре-феврале формируется отрицательная аномалия приземного давления над Северной Атлантикой в области субтропических и умеренных широт, а на северо-востоке Атлантико-Европейского региона образуется положительная аномалия приземного давления. Эта структура в поле приземного давления напоминает отрицательную фазу Восточно-Атлантического колебания (ВАК). Можно



сделать вывод, что в годы Ла-Нинья ВТ типа идет усиление отрицательной фазы ВАК, что сопровождается холодными зимами в Восточной Европе (рис. 1б, 1г) и поздней весной во всем Европейском регионе.

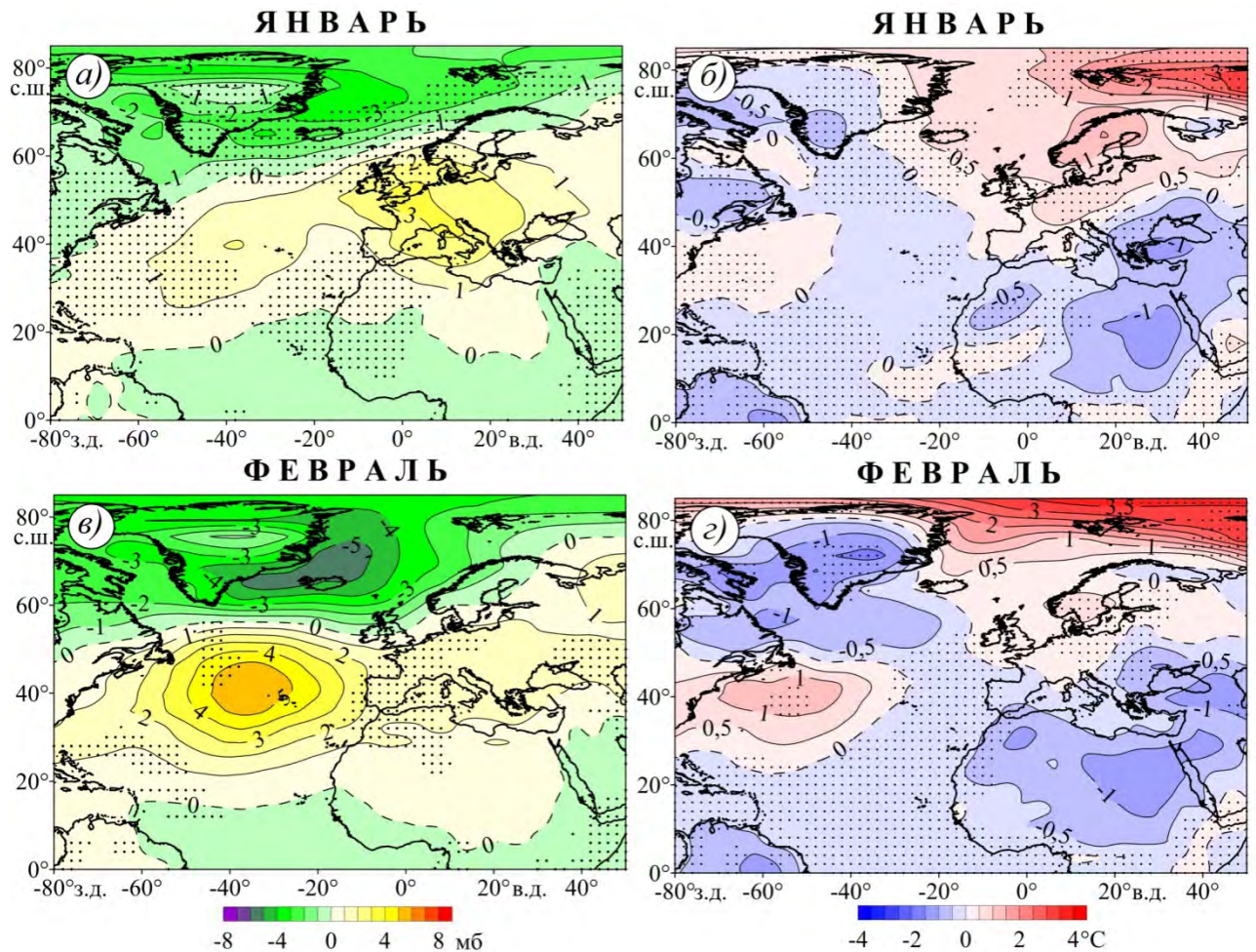


Рис. 2. Композиты аномалий приземного давления (а, в) и композиты аномалий температуры воздуха (б, г) в годы событий Ла-Нинья Центрального типа по данным реанализа 20 столетия. Точками отмечена статистическая значимость на 95% уровне

В годы *Центрального типа Ла-Нинья* характерна другая структура в поле приземного давления: зимой положительная аномалия формируется в умеренных широтах (40-60°с.ш.) над Атлантикой, в высоких широтах образуется аномалия отрицательного давления со значениями до - 6 мб (рис. 2а, 2в). Такая структура соответствует положительной фазе Североатлантического колебания (САК), при которой траектория циклонов из Атлантики через Европу смещается на 200-400 км севернее, а в западной и северной Европе наблюдается положительная аномалия температуры воздуха (рис 2б, 2г). Интересно также заметить, что при Центральном типе Ла-Нинья в Баренцевоморском регионе в период с декабря по март наблюдается значимая положительная аномалия в температуре воздуха в связи с активной циклонической деятельностью над этим регионом.

Таким образом, в результате уточненной классификации Ла-Нинья работе показаны особенности двух типов событий, обусловленные глобальными процессами в системе океан-атмосфера, которые проявляются в аномалиях гидрометеополей через усиление или ослабление Восточно-Атлантического или Североатлантического колебаний.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 16-35-00186-мол\_а).*

### **Список литературы**

1. McPhaden M.J., Zebiak S.E. Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // *Science*, 2006. – V. 314. – № 5806. – P. 1740–1745.
2. Philander S.G. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation // Academic Press. San Diego, CA. –1990. – 289 p.
3. Dong B.-W. , Sutton R. T. et al. Predictable winter climate in the North Atlantic sector during the 1997-1999 ENSO cycle // *Geophys. Res. Let.* – 2000. – Vol. 27, No. 7. – P. 985–988
4. Нестеров Е . С. Изменчивость характеристик атмосферы и океана в атлантико-европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья // *Метеорология и гидрология*. – 2000. – № 8. – С. 74–83.
5. Мохов И. И. , Смирнов Д. А. Исследование взаимного влияния процессов Эль-Ниньо – Южное колебание и Северо-Атлантического и Арктического колебаний // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*.– 2006.– Т. 42, № 5.– С. 650–667
6. Zhang W., Wang L., Xiang B., et. al. Impacts of two types of La Niña on the NAO during boreal winter// *Climate Dynamics*. 2014. V. 44. P. 1351-1366.
7. Yuan Y., Yan H. M. Different types of La Nina events and different responses of the tropical atmosphere// *Chin. Sci. Bull.* 2013. V. 58. № 3. P. 406-415.
8. Воскресенская Е. Н., Марчукова О. В. Качественная классификация событий Ла-Нинья // *Мор. гидрофиз. журн.* — 2015 — №3 – с. 15-26;



УДК 551.465

**Исследование изменения положения и интенсивности северного субполярного фронта атлантики и ледово-термических условий Баренцева моря. к.г.н., с.н.с., Крашенинникова С.Б.**

*Институт природно-технических систем, г. Севастополь, [svetlanabk@mail.ru](mailto:svetlanabk@mail.ru)*

**Введение**

Известно, что низкочастотные вариации системы Гольфстрим – Северо-Атлантическое течение, несущей тепло низких широт на север оказывают существенное воздействие на климатические условия Атлантико-Европейского сектора. Эти течения образуют Северный субполярный океанический фронт (ССПФ), находящийся на границе крупномасштабных круговоротов Северной Атлантики: Северного субтропического антициклонического круговорота (ССАК) и Северного субполярного циклонического круговорота (ССЦК). Изменение интенсивности и положения СППФ может сказываться на ледово-термических условиях Баренцева моря [1–4].

Существовало мнение, что мощность Гольфстрима в последнее десятилетия значительно ослабела. Основанием для этого послужила работа [5], в которой по пяти гидрологическим разрезам на 26,5° с.ш. Субтропической Атлантики было показано, что меридиональная циркуляция океана за период 1957 – 2004 гг. уменьшилась на 30%. Однако это не подтвердилось результатами более полных расчетов, выполненных на основе анализа всех имеющихся данных гидрологических разрезов в Субтропической Атлантике в [6], а также по альтиметрическим наблюдениям высоты поверхности моря, температуры, солености и скорости течений, полученных с буев АРГО [7].

В работе [7] была получена также косвенная оценка мощности Гольфстрима. Она оценивалась на основе индекса Гольфстрима (Gulfstream North Wall, GSNW), характеризующего положение хорошо идентифицируемой северной границы течения. Этот индекс GSNW был предложен Тейлором и Стефенсом в 1980 г. Он рассчитывается в морской лаборатории Плимута (Великобритания) и часто используется для оценки изменчивости этого течения и в качестве индикатора климатических колебаний в Северной Атлантике. Для определения GSNW снимается широта положения «северной границы» Гольфстрима на шести долготах: 79°, 75°, 72°, 70°, 67°, 65° з.д. по разным источникам. В работе [7] отмечено, что между индексом Гольфстрима и меридиональной циркуляцией Атлантики отмечается значимая положительная связь. При этом при смещении Гольфстрима на север происходит усиление меридиональной циркуляции. Анализ этого индекса показывает, что с 1970 – 1994 гг., отмечается тенденция продвижения Гольфстрима на север, а в период 1994 – 2010 гг., он отступает к югу. Согласно оценкам, полученным в [7] южнее всего Гольфстрим располагался в 1971 г, а севернее всего в 1994 г. Что касается 2010 г., то положение границы течения было близко к норме. В настоящей работе предлагается еще одна косвенная оценка смещения СППФ в Северной Атлантике на междесятилетних масштабах по полю поверхностной температуры океана (ТПО).

В последнее время для анализа структуры климатических характеристик океанологических полей, в том числе и ТПО, все чаще используются регулярные по времени и пространству данные океанических реанализов, одним из лучших является реанализ ORAS3 [8, 9]. Использование океанического реанализа ORAS3 позволяет избежать пропусков в данных и получить непрерывные временные ряды ТПО в Северной Атлантике,

необходимые для исследования изменения положения ССПФ на междесятилетнем масштабе.

### **Цель работы**

Исследовать изменение положения и интенсивности ССПФ Северной Атлантики, а также установить связь этих изменений с изменениями ледово-термических условий Баренцева моря на междесятилетних масштабах.

### **Материалы и методы**

Исследование интенсивности Гольфстрима проводилось по данным Международного банка океанографических данных (WODB) за 1950 – 2004 гг. в [10]. Анализ межгодовой изменчивости и трендов расхода ФТ, которое составляет около 30% среднемноголетнего расхода Гольфстрима, проводился в [11] на основе данных инструментальных наблюдений предоставленных в свободном доступе Атлантической океанографической и метеорологической лабораторией (AOML) при финансовой поддержке офиса климатических наблюдений NOAA и оценок разных авторов за 1964 – 2008 гг. Смещение ССПФ анализировалось по положению  $18^\circ$  изотермы полей ТПО в Северной Атлантике, рассчитанных путем осреднения за десятилетия среднегодовых полей температуры по данным реанализа ORAS3 за 1959 – 2012 гг. и контактных наблюдений WODB 1950 – 2012 гг. Сравнение полей, вертикальных профилей и долговременных тенденций изменения температуры в слое главного термоклина для участка пересекающего ССПФ в месте соединения Гольфстрима и Северо-Атлантического течения по данным океанического реанализа ORAS3 и контактных наблюдений WODB, было ранее выполнено в работе [12]. В ней показано, что температура в верхнем 2000-метровом слое океана качественно согласуется по двум массивам данных в рассматриваемом районе. Выделенные линейные тренды среднегодовой температуры за 1959 – 2012 гг. в слое 0 – 1000 м – положительные, в слое 1000 – 2000 м – отрицательные, полученные результаты статистически значимые на 95% доверительном уровне. Таким образом, проведенный анализ показал, что океанический реанализ ORAS3 адекватно описывает межгодовую, междесятилетнюю изменчивость и тренды температуры в термоклине в рассматриваемом районе Северной Атлантики.

В работе исследовалась взаимосвязь изменения положения ССПФ с изменением термических характеристик Баренцева моря по данным, предоставленным в свободном доступе институтом ПИНРО за 1951 – 2014 гг., и его ледовитости за 1900 – 2014 гг. [1 – 3] на междесятилетних масштабах.

### **Основные результаты и выводы**

В работе были получены среднегодовые поля ТПО для всей Северной Атлантики по данным ORAS3, которые осреднялись по десятилетиям. На рис. 1 представлены только  $18^\circ$  изотермы, выделенные по декадным полям температуры.

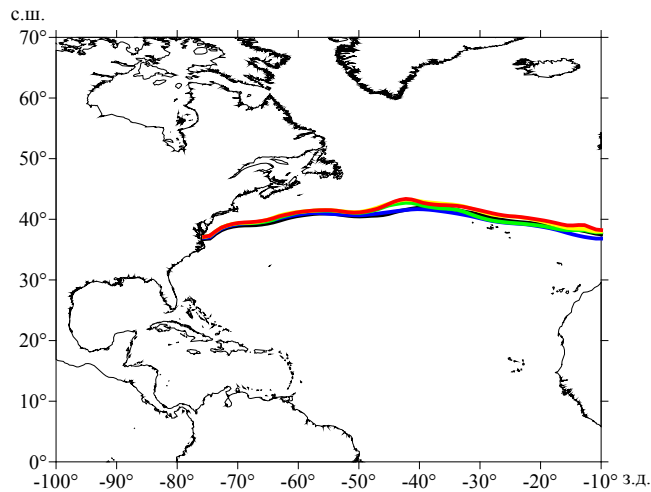


Рис. 1. 18° изотермы в Северной Атлантике выделенные по осредненным по десятилетиям полям ТПО: 1961 – 1970 гг. (черная линия), 1971 – 1980 гг. (синяя линия), 1981 – 1990 гг. (зеленая линия), 1991 – 2000 гг. (желтая линия), 2000 – 2010 гг. (красная линия).

18 градусная вода – вода с относительно постоянными свойствами на глубинах в сотни метров и протяженностью тысячи километров в Северной Атлантике, она получила свое название из-за доминирующей температуры. Эта водная масса образуется в Саргассовом море в западной части ССАК в период зимней конвекции [13]. 18 градусная вода распространяется вдоль всей западной части ССАК, однако место, где она локализуется, находится недалеко от места отрыва Гольфстрима от берега.

Анализ 18° изотермы, которая выбиралась в качестве индикатора смещения ССПФ [14], показал, что ССПФ в 60-е, 70-е гг. находился южнее (черная, синяя и изотермы), чем в 80-е, 90-е гг. XX в. и начале XXI в. (зеленая, желтая и красная изотермы). Однако эти оценки являются лишь косвенным подтверждением смещения ССПФ и самого ССАК.

Обобщение результатов работ [6, 10, 11, 15, 16] показало, что с середины 60-х по 90-е гг. XX в. меридиональная циркуляция в Северной Атлантике интенсифицировалась а, начиная с середины 90-х гг. XX в. по 10-е гг. XXI в. меридиональная циркуляция – ослабевала. Это сопровождалось смещением ССАК сначала в южном направлении 50-е – конец 60-х гг., а, начиная с 70-х XX в. – середины 90-х гг. XX в. круговорот смещался в северном направлении. В работе [17] еще в 40-е гг. XX в. впервые было высказано предположение, что в период интенсификации меридиональной циркуляции в Северной Атлантике – ССАК должен сжиматься. Согласно этому предположению в период с середины 60 по середину 90-е гг. XX в. форма круговорота уменьшалась в меридиональном направлении, начиная с середины 90-х гг. происходит увеличение его формы в меридиональном направлении.

Такие изменения в поверхностной циркуляции вод в Северной Атлантике привели к изменению ледовитости и температуры Баренцева моря. Увеличение его ледовитости наблюдалось с 1959 по 1975 гг. В начале 70-х гг. ССПФ, занимал крайнее южное положение, после чего фронт начал смещаться в северном направлении, обеспечивая поступление теплых Североатлантических вод в Арктический бассейн. Поэтому в 1975 – 2005 гг. температура Баренцева моря росла, а ледовитость – уменьшалась. После того, как ССПФ занял крайнее северное положение в середине 90-х гг. XX в., движение на юг ССАК снова возобновилось, что отражается в уменьшении температуры и увеличении ледовитости Баренцева моря после

2005 г. Таким образом, квазипериодические изменения ледовитости и температуры Баренцева моря находятся в противофазе, причем их реакция на изменение интенсивности меридиональной циркуляции в Северной Атлантике происходит с запаздыванием на ~ 10 лет, пока ССПФ не достигнет крайнего северного или южного положения.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ (15-05-02019А) «Меридиональный перенос тепла в Тропической и Субтропической Атлантике: роль различных механизмов и низкочастотная изменчивость».

### Список литературы

1. Воробьев В.Н., Косенко А.В., Смирнов Н.П. Многолетняя динамика ледового покрова морей западного сектора Арктики и ее связь с циркуляцией атмосферы и океана в североатлантическом регионе // Изв. РГО, 2010, vol. 142, вып. 6. – С. 52–59.
2. Жичкин А.П. Динамика межгодовых и сезонных аномалий ледовитости Баренцева и Карского морей // Вестник Кольского научного центра РАН, 2015, вып. 20, №1, С. 55–64.
3. Крашенинникова С. Б., Крашенинникова М. А. Низкочастотная изменчивость ледовитости и термохалинных характеристик Баренцева моря и ее связь с Североатлантическим колебанием и Атлантической мультидекадной осцилляцией // Евразийский Союз Ученых (Географические науки), 2016, №25, Ч.5., С. 97–100.
4. Матишов Г.Г., Дженюк С.Л. Арктика Морская хозяйственная деятельность в российской Арктике в условиях современных климатических изменений // Экология и экономика, 2012, №1 (5), С. 26–37.
5. Bryden H.L., Longworth H.R., Cunningham S.A. Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25°N // Nature. – 2005. – 438. – P. 655 – 657. doi:10.1038/nature04385
6. Polonsky A.B., Krasheninnikova S.B. Space-and-time variability of the meridional heat transport in the North Atlantic // Phys. Oceanogr., 2011, vol. 20, Issue 6, P. 419–434.
7. Карлин Л.Н., Малинин В.Н., Гордеева С.М. Изменчивость гидрофизических характеристик в Гольфстриме // Океанология, 2013, т.53, №4, С. 454-462.
8. Balmaseda M.A., Vidard A. and Anderson D.L.T. The ECMWF Ocean Analysis System: ORA-S3 // Month. Weath. Rev., 2007, vol. 136, P. 3018–3034.
9. Kröger J., Müller W. A., von Storch J. S. Impact of different ocean reanalyses on decadal climate prediction // Climate dynamics, 2012, vol. 39, №. 3-4, P. 795–810.
10. Джиганшин Г.Ф., Полонский А.Б. Низкочастотная изменчивость расхода Гольфстрима: описание и механизмы // Морской гидрофизический журнал, 2009, №3, С. 30 – 49.
11. Джиганшин Г.Ф., Крашенинникова С.Б. Механизм взаимодействия Флоридского течения, свердруповского переноса и Североатлантического колебания // Сб. Экология моря, 2009, вып. 78, С. 50–54.
12. Крашенинникова С.Б., Сухонос П.А. Термические характеристики Субтропической Атлантики по данным WODB и ORA-S3 // Системы контроля окружающей среды, 2014, Вып. 20, С. 123–127.
13. Marshall, J., and 23 others . The Climode Field Campaign: Observing the Cycle of Convection and Restratification over the Gulf Stream // Bull. Amer. Meteor. Soc., 2009, vol. 90, P. 1337-1350.

14. Hobson V.J., McMahon C.R., Richardson A., et. al. Ocean surface warming: The North Atlantic remains within the envelope of previous recorded conditions // *Deep-Sea Research*, 2008, Part I, vol. 55, P. 155–162.
15. Bersch M., Yashayaev I., Koltermann K. P. Recent changes of the thermohaline circulation in the subpolar North Atlantic // *Ocean Dyn.*, 2007, vol. 57, P. 223–235.
16. Curry R.G., McCartney M.S. Ocean Gyre Circulation changes associated with the North Atlantic Oscillation // *J. of Phys. Oceanogr.*, 2001, vol. 31, P. 3374–3400.
17. Iselin C. O'D. Preliminary report on long-period variations in the transport of the Gulf Stream system // *Papers in Phys. Oceanogr. and Meteorol.*, 1940, vol. 8(I), P.1–40.

## **Роль аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей и изменении климата.**

**Шевченко Владимир Петрович**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

Атмосфера – один из каналов обмена и перераспределения вещества на Земле. Тот факт, что атмосфера содержит взвешенные в воздухе частицы аэрозоля, имеет важное значение, оказывая существенное влияние на формирование качества воздуха, дальность видимости, разнообразные химические реакции, происходящие на поверхности частиц аэрозоля, и на климат [Фукс, 1955; Junge, 1963; Кондратьев, Поздняков, 1981; Лисицын, 2011]. Аэрозодем называется совокупность мельчайших частиц или жидких капелек, взвешенных в газовой фазе [Brimblecombe, 1996].

Аэрозоли Арктики изучены крайне слабо. Между тем сравнительно с другими климатическими поясами здесь существуют особые условия, определяющие количество, свойства и состав аэрозольного материала. Прежде всего, это положение в высоких широтах – в области глобальной дивергенции в ячейках вертикальной циркуляции. Здесь происходит выход аэрозольного материала стратосферы (максимум содержания на высотах около 20 км), его смешение с материалом тропосферы и опускание в приземные слои с развитой облачностью, откуда этот материал осаждается. Эта модель подтверждается изучением радиоактивных выпадений после ядерных испытаний [Лавренчик, 1965]. Меридиональная циркуляция усиливается зимой [Raatz, 1991].

В докладе представлены результаты 25-летних исследований аэрозолей приводного слоя над морями Российской Арктики, а также в Центральной Арктике, в районе Северного полюса [Шевченко и др., 1999, 2000; Shevchenko, 2003; Shevchenko et al., 2003, 2016a,b; Виноградова, Шевченко, 2005; Шевченко, 2006; Польшин и др., 2008; Козлов и др., 2009]. Изучались минеральный и химический состав аэрозолей, распределение аэрозольных частиц по размерам, пути переноса эолового материала и степень загрязненности арктической атмосферы антропогенными примесями. Особое внимание уделено оценкам горизонтальных и вертикальных потоков различных компонентов. Исследования проводились одновременно несколькими методами: улавливанием частиц на нейлоновые сети большой (10 м<sup>2</sup>) площади, фильтрацией воздуха через фильтры Whatman-41 и АФА-ХА, подсчетом частиц с помощью фотоэлектрических счетчиков.

Применение нескольких взаимно дополняющих методов изучения аэрозолей, а также использование данных по снегу на поверхности льдов и по морским льдам позволило определить количественное содержание и потоки аэрозольного материала Арктики вплоть до Северного полюса, его гранулометрический, минеральный и химический состав, определить виды загрязнений и районы их поступления. Выявлены и применены многочисленные маркеры аэрозольного материала, использование которых позволяет определить области его захвата с поверхности, траектории переноса и участки отложения (депоцентры).

Коренным отличием эолового материала в Арктике является то, что главная его поставка и разгрузка идет не летом, а зимой, когда поверхность питающих провинций (зоны тайги и тундры) скрыты слоем снега и скованы льдом. Главное значение имеют аэрозоли дальнего и сверхдальнего происхождения (особенно зимой) – об этом свидетельствуют многочисленные маркеры.

Осаждение аэрозолей в Арктических морях и в Центральной Арктике идет не на водную



поверхность, как в других зонах, а со снегом главную часть года на поверхность льдов. В зоне паковых льдов типична круглогодичная аккумуляция эолового материала на льдах на протяжении 3–15 лет [Шевченко, 2006]. Разгрузка аэрозолей в области паковых льдов идет в местах таяния льдов – в проливе Фрама и желобе Франц-Виктория [Лисицын, 2010; Lisitzin, Shevchenko, 2016]. Арктика, таким образом, является гигантским природным сборником эолового вещества и связанных с ним загрязнений, которые поступают сначала во льды, т.е. превращаются в криозоли, а затем в воду на многие тысячи километров от мест их выпадения.

Балансные подсчеты, полученные на основе наших определений, показывают, что вклад аэрозолей в формирование осадочного материала в Арктике близок к вкладу речного осадочного вещества – за пределами маргинальных фильтров рек (ранее эоловый материал в Арктике не принимался в расчет). Для многих элементов (Pb, Cd, Hg, Sb, Se, V и др.) и соединений (в том числе стойкие органические загрязнители) аэрозольный источник – главный [Shevchenko, 2003].

На основании геохимических исследований и изучения загрязнений удалось выявить главные точечные и локальные источники загрязнений (Норильск, Кольский п-ов, нефтяные факелы Западной Сибири и северо-востока Европейской части России). Удалось по соотношениям элементов установить "лицо" загрязнений из каждого источника (из крупнейших индустриальных областей), проследить конкретные траектории происхождения воздушных масс в Арктике и связанных с ними конкретных загрязнений, места главной разгрузки воздушных масс (депоцентры), сезонный ход процессов.

Показано, что эпизодически, особенно весной, в высоких широтах Северного полушария происходит выпадение большого количества пыли, окрашивающей снег в желтый или коричневый цвета. Один такой эпизод был отмечен 25–26 марта 2008 г. в Архангельской области, Республике Коми и Ненецком автономном округе. В результате детальных минералогических, геохимических, палинологических, метеорологических исследований показано, что основным источником желтоватой пыли являются полупустынные и степные районы Северо-Западного Казахстана, Волгоградской и Астраханской областей, Республики Калмыкия, поверхностный слой почвы которых был поднят в воздух сильным ветром во время мощного циклона [Шевченко и др., 2010].

Особое внимание нами уделяется исследованию черного углерода в аэрозолях Арктики. При сжигании органического топлива, горении биомассы (главным образом при лесных и степных пожарах) в атмосферу выбрасываются не только парниковые газы, но и мельчайшие аэрозольные частицы – черный углерод (сажа), которые так же как и парниковые газы влияют на радиационные свойства атмосферы [Quinn et al., 2011; Stohl et al., 2013]. Сажа способна переноситься ветрами на сотни и тысячи километров. По оценкам [Hansen and Nazarenko, 2004] сажевый углерод приводит к снижению альбедо арктического снежно-ледяного покрова, что может вызвать увеличение поставки тепла за счет солнечной радиации и оказать существенное влияние на климат, в первую очередь Арктики.

Распределение черного углерода в приземном слое атмосферы над Северной Атлантикой, Балтийским, Северным, Норвежским, Баренцевым, Белым, Карским морями и морем Лаптевых было изучено в ходе научных экспедиций на борту научно-исследовательского судна "Академик Мстислав Келдыш" с 23 июля по 24 октября 2015 г. [Shevchenko et al., 2016a]. Районы-источники черного углерода оценивали с помощью модели HYSPLIT расчета обратных траекторий переноса воздушных масс, разработанной

Национальной администрацией США по изучению океана и атмосферы (<http://www.arl.noaa.gov/ready.html>) и модели FLEXPART (<http://www.flexpart.eu>). При прохождении ряда участков маршрута судна воздушные массы поступали из фоновых районов, поэтому измеренные концентрации черного углерода были низкими. При прохождении других участков воздушные массы поступали из промышленно развитых районов с сильными его источниками, поэтому концентрации черного углерода были значительно выше. Полученные данные о концентрациях черного углерода используются для верификации данных о его эмиссии в этих районах.

### **Выводы**

Подтверждено, что вклад аэрозолей в загрязнение Арктики весьма существенен. Для ряда химических элементов (Pb, Cd, Hg, Sb, Se, V и др.) и соединений (в том числе стойкие органические загрязнители) аэрозольный источник – главный.

Концентрация черного углерода в приводном слое атмосферы над арктическими морями России в конце летнего сезона в основном находится на фоновом для Арктики уровне. Повышение концентрации черного углерода в несколько раз происходит эпизодически при поступлении воздушных масс со стороны районов крупных промышленных центров, сжигания попутных газов и (или) лесных пожаров.

Автор благодарен академику А.П. Лисицыну за ценные советы. Работа выполнена при поддержке Программы № 3 фундаментальных исследований Президиума РАН (Проект “Роль аэрозолей в загрязнении морей и океанов и изменении климата”).

### **Список литературы**

Виноградова А.А., Шевченко В.П. Роль атмосферных аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 5–6. С. 387–392.

Козлов В.С., Тихомиров А.Б., Панченко М.В. и др. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля в приводной атмосфере Белого моря по данным одновременных корабельных и береговых измерений в августе 2006 г. // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 8. С. 767–776.

Кондратьев К.Я., Поздняков Д.В. Аэрозольные модели атмосферы. М.: Наука, 1981. 103 с.

Лавренчик В.Н. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов. М.: Атомиздат, 1965. 170 с.

Лисицын А.П. Новый тип седиментогенеза в Арктике – ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 18–60.

Лисицын А.П. Аридная седиментация в Мировом океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 10. С. 1398–1439.

Полькин В.В., Панченко М.В., Грищенко И.В. и др. Исследования дисперсного состава приводного аэрозоля Белого моря в конце летнего сезона 2007 г. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 10. С. 836–840.

Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во Академии наук, 1955. 352 с.

Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.

Шевченко В.П., Коробов В.Б., Лисицын А.П. и др. Первые данные о составе пыли,

окрасившей снег на Европейском севере России в желтый цвет (март 2008 г.) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 431. № 5. С. 675–679.

Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А. и др. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 551–576.

Шевченко В.П., Лисицын А.П., Купцов В.М. и др. Состав аэрозолей в приземном слое атмосферы над морями западного сектора Российской Арктики // Океанология. 1999. № 1. С. 142–151.

Brimblecombe P. Air Composition and Chemistry. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 253 p.

Hansen J., Nazarenko L. Soot climate forcing via snow and ice albedos // PNAS. 2004. V. 101. № 2. P. 423–428.

Junge C.E. Air chemistry and radioactivity. N.Y., L.: Academic Press, 1963. 382 p.

Lisitzin A.P., Shevchenko V.P. Glacial-marine sedimentation // Encyclopedia of Marine Geosciences / J. Harff, M. Meschede, S. Petersen, J. Thiede (eds.). Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2016. P. 288–294.

Quinn P.K., Stohl A., Arneth A. et al. The Impact of Black Carbon on Arctic Climate. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2011. 72 p.

Raatz W.E. The climatology and meteorology of arctic air pollution // Pollution of the Arctic Atmosphere. Elsevier Science Publishers, 1991. P. 13–42.

Shevchenko V. The influence of aerosols on the oceanic sedimentation and environmental conditions in the Arctic // Berichte zur Polar- und Meeresforschung. 2003. N 464. 149 p.

Shevchenko V.P., Kopeikin V.M., Evangelidou N. et al. Atmospheric black carbon over the North Atlantic and the Russian Arctic seas in summer – autumn time // Химия в интересах устойчивого развития. 2016а. Т. 24. № 4. С. 441–446.

Shevchenko V., Lisitzin A., Vinogradova A., Stein R. Heavy metals in aerosols over the seas of the Russian Arctic // The Science of the Total Environment. 2003. V. 306. P. 11–25.

Shevchenko V.P., Vinogradova A.A., Lisitzin A.P. et al. Aeolian and ice transport of matter (including pollutants) in the Arctic // Implications and Consequences of Anthropogenic Pollution in Polar Environments. From Pole to Pole / R. Kallenborn (editor). Springer, 2016b. P. 59–73.

Stohl A., Klimont Z., Eckhardt S. et al. Black carbon in the Arctic: the underestimated role of gas flaring and residential combustion emissions // Atmos. Chem. Phys. 2013. V. 13. P. 8833–8855.

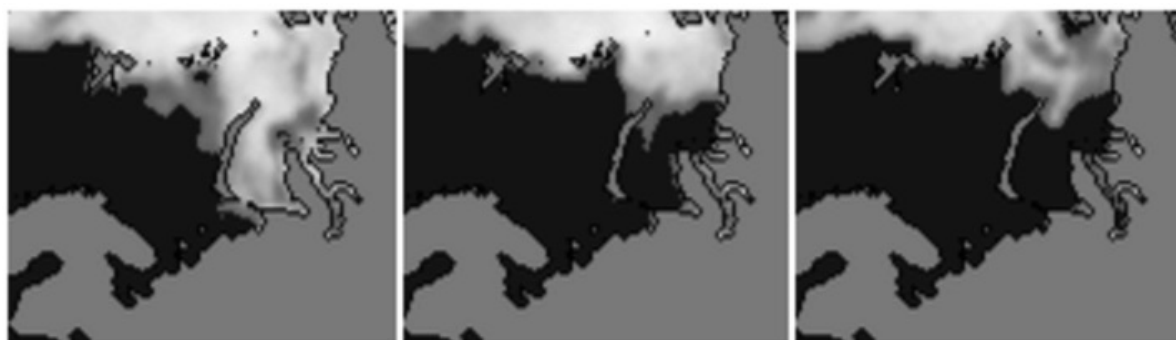
**Ледовые условия у архипелага Новая Земля в последние 40 лет и из документов  
А.П.Лазарева и Ф.П.Литке в 1819-1824 гг.**

**Сычев Виталий Иванович**

*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург*

Анализ распределения льда у архипелага Новая Земля в летний период 1979-2015 гг. был уточнен по спутниковой информации в начале 2016 г. из данных Национального центра данных по снегу и льду (NSIDC) в Боулдере (Колорадо, США). Для этой цели были использованы обработанные данные пассивных микроволновых радиометров SMMR, SSM/I, SSMIS спутников Nimbus-7 и F8, F11, F13, F17 в рамках программы DMSP с пространственным разрешением 25 км с октября 1978 г. по декабрь 2015 г.[1] Оценки площади, занимаемой морским льдом в сентябре 2016 г., составили 2,8 млн. км<sup>2</sup>, т.е. на 1,7 млн. км<sup>2</sup> меньше, чем в среднем за период 1979-2010 гг. В то же время площадь, покрытая льдами различной сплоченности, составила 4,23 млн. км<sup>2</sup>, что на 2,15 млн. км<sup>2</sup> меньше, чем в 1979-2010 гг. Выявленные факты заставляют утверждать, что последствия уменьшения площади морского льда распространяются за пределы Арктики, вызывая аномалии, оказывающие влияние на погодные условия в средних широтах.

Приведенные в качестве примера современные спутниковые изображения Карского и восточной части Баренцева морей (рис.1.) показывают, что, начиная с 1979 г., в условиях потепления климата ледовая обстановка у Новой Земли в июле-сентябре стала благоприятней для навигации. [1] Только в июле 1981 г. и в августе 1980 г. был затруднен доступ к северной части архипелага. В остальные годы в июле-сентябре к западу и к северу



а)

б)

в)

Рис. 1. Спутниковые изображения распределения льда у архипелага Новая Земля в самые суровые годы периода 1979-2015 гг.: а) июль 1981 г., б) август 1980 г., в) сентябрь 1980 г.

от Новой Земли лед отсутствовал, и имелись благоприятные условия для навигации в описываемом районе севернее Новой Земли (рис.2). Вместе с тем, в летний период текущего, 2016 г. проявились некоторые особенности, отличающие годовой ход площади льдов в Арктике и районе Баренцева и Карского морей. По данным интерактивной мультисенсорной системы картографирования снега и льда (IMS) программы MASIE-NH [3] минимальная площадь льдов была отмечена в Арктике раньше обычного, 5-6 сентября, после чего началось увеличение площади льдов (Рис. 3). В другие аномальные годы увеличение площади льдов начиналось позже от нескольких дней до двух недель. Для сравнения

полученной информации использовались данные системы архивирования данных в Арктике (ADS) Национального института полярных исследований Арктического научно-исследовательского центра по окружающей среде Японии (Рис.4).

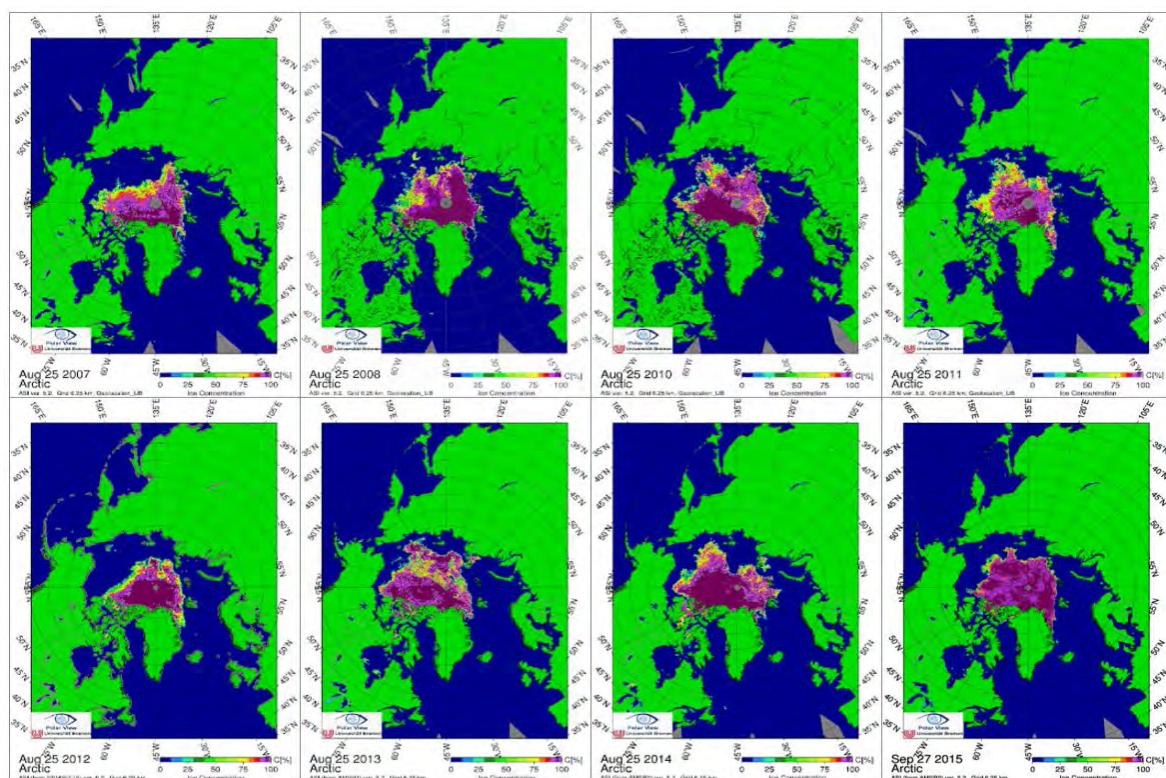


Рис. 2. Карты распределения льда 25 августа 2007-2015 гг. [2]

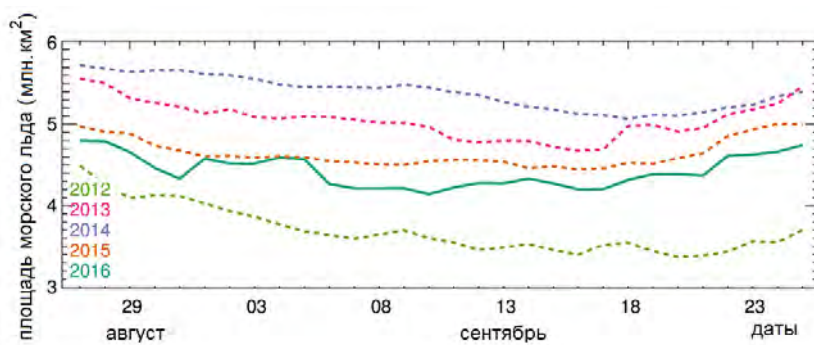


Рис. 3. Изменение площади морского льда в Арктике летом 2012-2016 гг. [3]

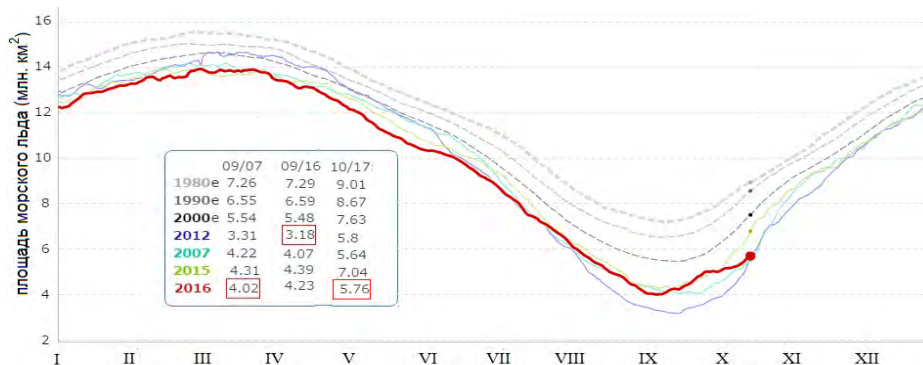


Рис. 4. Изменение площади морского льда в Арктике по данным ADS.



Результаты сравнения приведены на рис.4 и подтверждают сделанные выводы. В 2016 г. минимальная площадь льдов отмечалась в начале сентября, тогда как в теплые годы (2007 и 2012) - в середине месяца.

Изменение площади льдов Баренцева и Карского морей отличалось от характера изменения в Арктическом регионе. До конца сентября 2016 г. льдов в этих морях практически не наблюдалось (Рис.5.), как и в самый теплый за всю историю наблюдений 2012 г., что привело к значительным градиентам температуры поверхности и обострению атмосферной циркуляции, как в регионе, так и в более южных широтах

Ретроспективный анализ данных о распределении льда из различных источников и их сравнение, а также изучение документов исследователей архипелага Новая Земля А.П. Лазарева и Ф.П. Литке, совершивших плавание в 1819-1824 гг., показали наличие мощных льдов и их значительную площадь в восточной части Баренцева и западной части Карского морей в конце первой четверти XIX в. На рис.6 по данным А.П.Лазарева в 1819 г. и Ф.П. Литке в 1821-1824 гг. [4] приведена южная граница морских льдов, препятствовавших плаванию навигаторов к северу.

В 1819 г. А.П. Лазарев на бриге «Новая Земля» из-за тяжелой ледовой обстановки не смог, как предписывалось, ни выйти в Карское море, ни даже приблизиться к южному берегу Новой Земли и уже в середине сентября 1819 г. возвратился в Архангельск. Он даже утверждал в докладе морскому министру И.И. де Траверсе и в письме к И.Ф. Крузенштерну, что никто из поморов, промышлявших зверя в новоземельских водах, «не находил никогда берегов» этого острова потому, что остров всегда окружен припайными и дрейфующими льдами.[5]

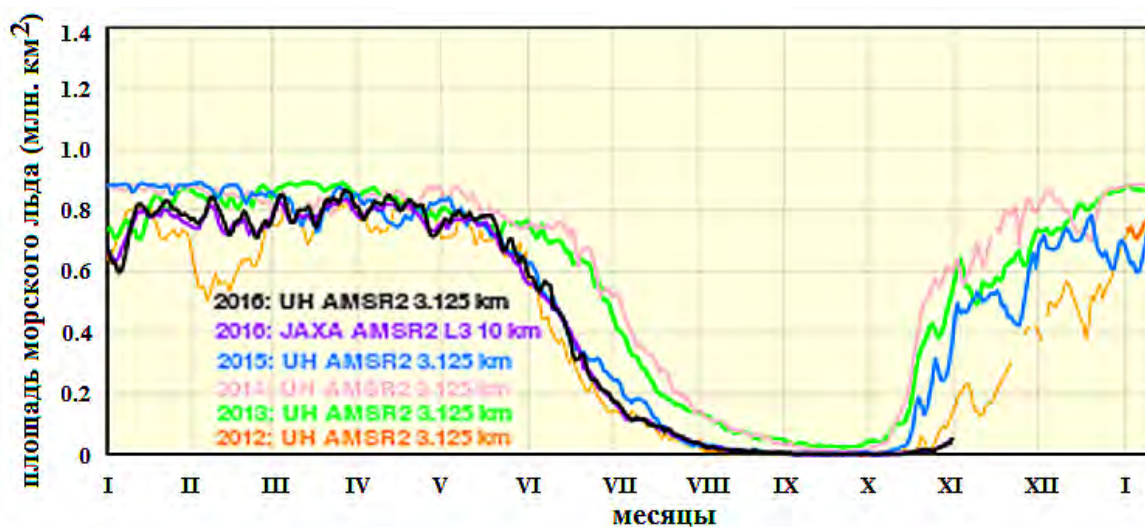


Рис. 5. Изменение площади морского льда в Карском море в 2012-2016 гг. по данным AMSAR2 [2]

В августе 1821 г. Литке удалось проникнуть на 200 миль севернее Лазарева, а спустя год еще на 100 миль. В августе 1822 г. Ф.П. Литке исследовал обе части Новой Земли, пролив между ними и близлежащие острова, но не смог проникнуть ни к северу, ни к востоку от архипелага. Он достиг параллели 76°45'с.ш. и вспоминал: «Нас окружали со всех сторон мелькавшие сквозь мрак, подобно призракам, ледяные исполины. Мертвая тишина прерываема была только плеском волн о льды, отдаленным грохотом разрушавшихся льдин и изредка глухим воем моржей. Все вместе составляло нечто унылое и ужасное». [6]



В дальнейшем оказалось, что поход А.П. Лазарева и первые из плаваний Ф.П. Литке пришлось на завершающие годы периода очередного похолодания в Арктике. Более того, в ряде публикаций указывалось, что возможное понижение температуры и изменение циркуляции атмосферы и океана, в том числе в Арктике, усугублялось влиянием на климат Земли последствий извержения вулкана Тамборо в 1815 г. - самого мощного в истории человечества.

Рис. 6. Положение границы морских льдов по данным А.П.Лазарева в 1819 г. и Ф.П.Литке в 1821-1824 гг.

Рис. 6. Положение границы морских льдов по данным А.П.Лазарева в 1819 г. и Ф.П.Литке в 1821-1824 гг.

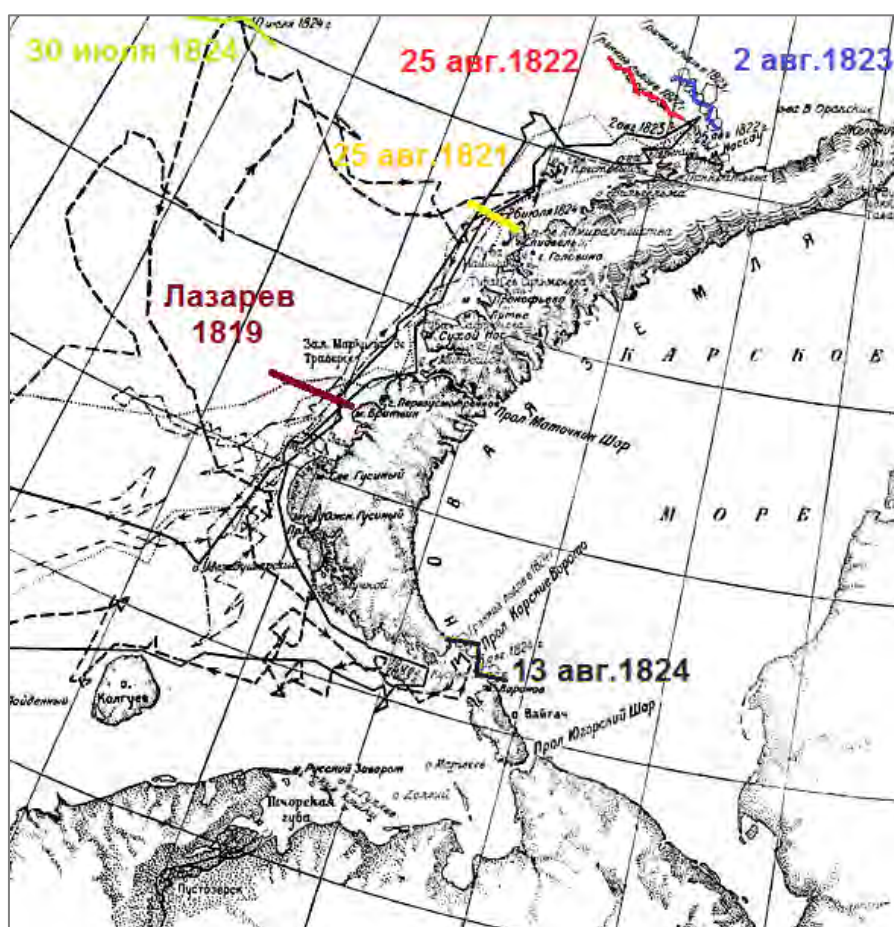


Рис. 6. Положение границы морских льдов по данным А.П.Лазарева в 1819 г. и Ф.П.Литке в 1821-1824 гг.

### Список литературы

1. Helfrich, S. R., D. McNamara, B. H. Ramsay, T. Baldwin, and T. Kasheta. Enhancements to and Forthcoming Developments To the Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS). *Hydrological Processes* 21(12): 2007. CC. 1576-1586.

2. Spreen, G., L. Kaleschke, and G. Heygster. Sea ice remote sensing using AMSR-E 89 GHz channels. *J. Geophys. Res.*, vol. 113, 2008, C02S03, doi:10.1029/2005JC003384.

3. Meier, W. N., M. L. van Woert, and C. Bertoina. Evaluation of Operational SSM/I Ice Concentration Algorithms. *Annals of Glaciology* 33: 2001. СС. 102-108.
4. Литке Ф.П. Четырехкратное путешествие в Северный Ледовитый океан на военном бриге «Новая Земля» в 1821, 1822, 1823 и 1824 годах. СПб., 1828; 2-е изд. М., 1948. 334 С.
5. *Цит. по* Сычев, Виталий. «Маркизова лужа». Легенды и правда о российском морском министре маркизе де Траверсе. «Премиум-пресс», С.-Петербург: 2014. СС. 141-144.
6. *Там же*. С. 142.

## Экспедиционные исследования структуры прибрежных вод Калининградской области.

Демидов А.Н., Рыков Н.А.\*, Дриго И.В.

Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова

\*Балтийский федеральный университет им. Канта

В июле-августе 2016 года состоялась третья учебно-научная экспедиция в рамках комплексных исследований прибрежных вод Калининградской области. В экспедиции принимали участие студенты и сотрудники трех ВУЗов, выпускающих студентов морских специальностей: Московского государственного университета (кафедра океанологии), Балтийского федерального университета (кафедра географии океана) и Московского физико-технического института (кафедра термогидромеханики океана). Также в работе участвовали сотрудники Института космических исследований РАН.

Наблюдения в открытой части моря производились с борта судна «Норд-3». В ходе экспедиции был выполнен большой комплекс работ, включающий метеорологические, океанологические зондирования, измерения скоростей течения ADCP. Всего было выполнено 135 станций (рисунок 1).

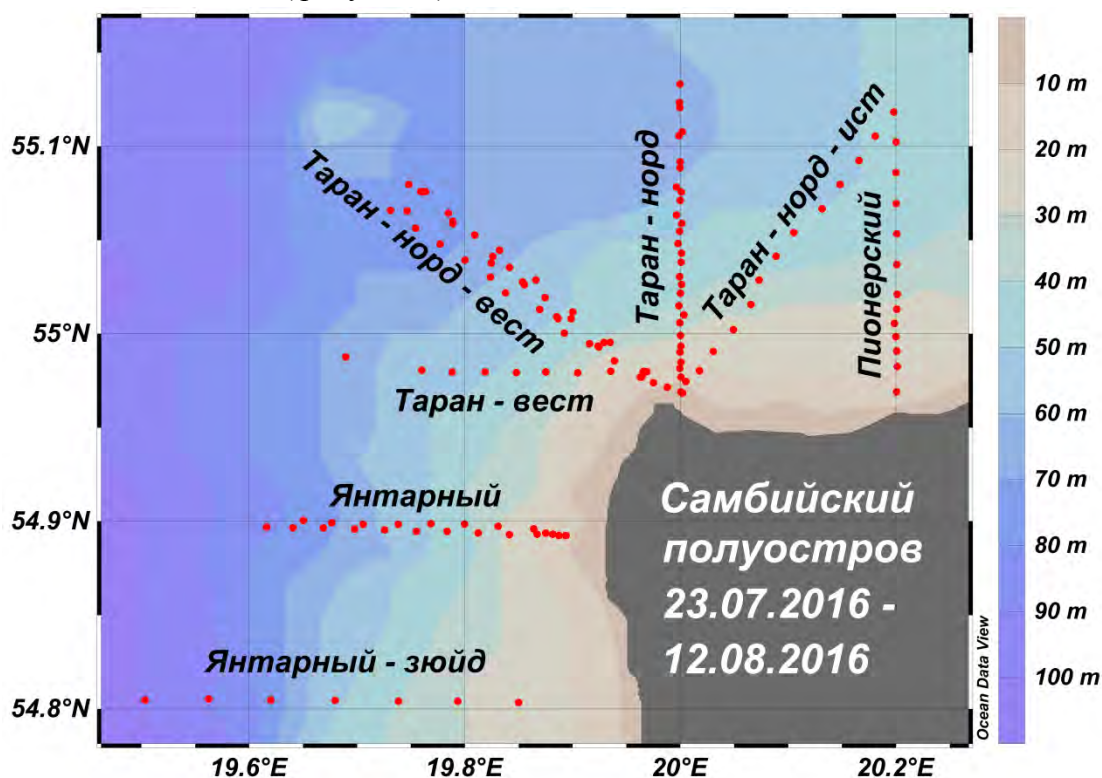


Рис. 1. Картограмма расположения разрезов 2016 года.

Проводились измерения температуры и солености воды, скоростей течений. Исследуемые параметры позволяют охарактеризовать гидрологическую структуру вод и оценить межгодовую изменчивость характеристик основных водных масс: поверхностной, североморской и вод холодного промежуточного слоя (ХПС).

В Балтике существует двухслойная система течений - в придонном слое соленые североморские воды проникают в Балтийское море, а опресненные за счет материкового стока воды локального происхождения движутся в поверхностном слое преимущественно в

обратном направлении.

Отмеченное в 2015 г, практическое отсутствие вод Холодного промежуточного слоя до глубин 50 - 60 м, сменилось на обычное состояние- верхняя граница, в исследуемом районе, расположена на 30-40 м. Проанализированы последствия мощного затока североморских вод начавшегося в 2014, который в классификации затоков по интенсивности за всю историю наблюдений находится на третьем месте.

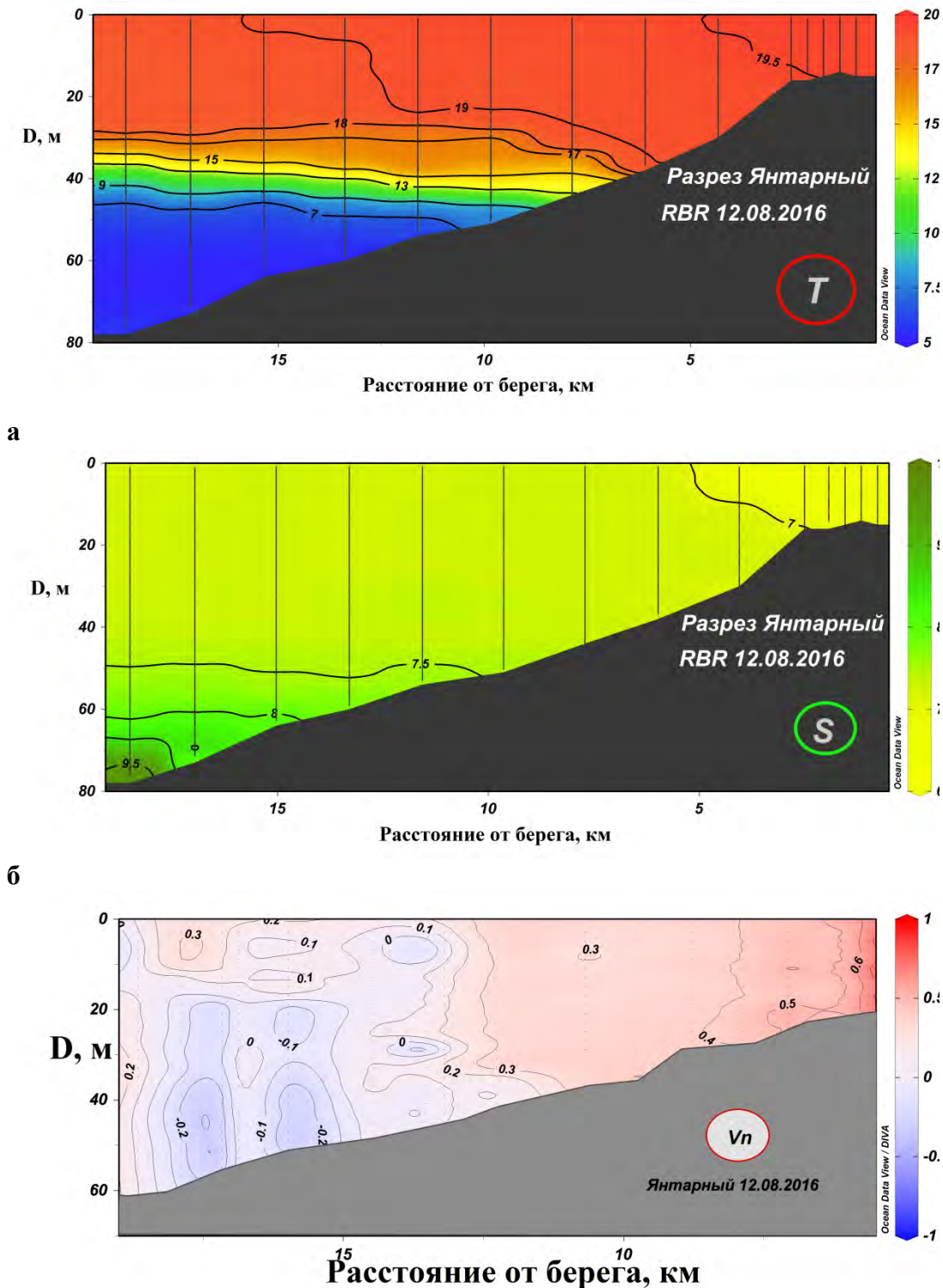


Рис. 2. Распределение температуры, °С ( а ), солёности, eps ( б ) и скоростей течений, м/с на разрезе Яantarный



В ходе экспедиции произошла смена поля скоростей течений, вследствие изменения направления ветра. Подобная ситуация наблюдалась во время нашей предыдущей экспедиции в 2010 году ( рисунок 4 ).

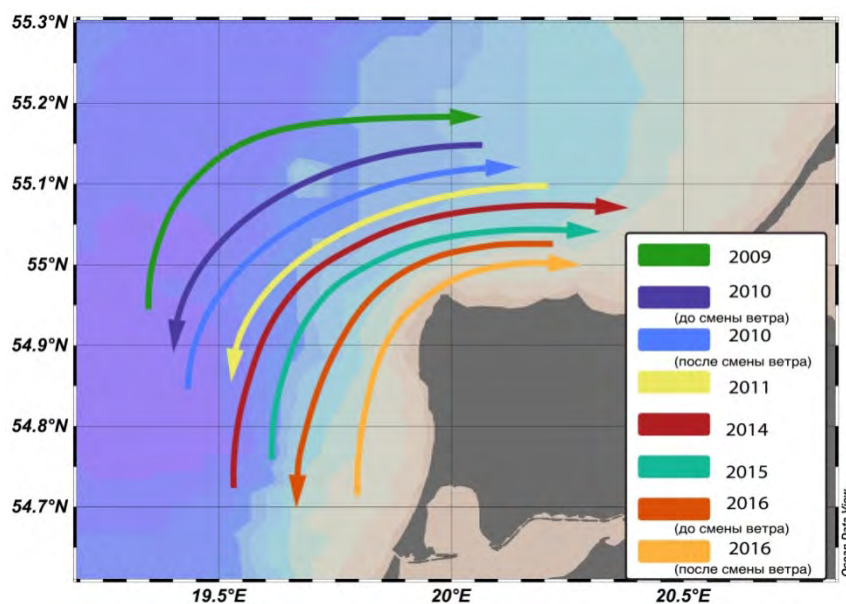


Рис. 4. Генеральные направления течений вблизи Самбийского полуострова, зафиксированные при проведении экспедиций в различные годы.

Студенты получили неоценимые навыки работы с современными океанологическими приборами и практические морские навыки, что будет способствовать их становлению как специалистов-океанологов. Подобные наблюдения в дальнейшем предполагается проводить на регулярной основе, что обеспечит мониторинг состояния прибрежных вод Калининградской области. Экспедицией фактически зафиксировано современное состояние вод, которое возможно изменится после строительства Польшей канала через свою территорию Балтийской косы.

Работы выполнялись по проекту Русского географического общества и РФФИ (проект №13-05-41374 РГО\_a).

**Особенности биогидрохимии вод юго- и северо-восточного шельфа Сахалина:  
анализ результатов математического моделирования.**

**Леонов Александр Васильевич<sup>1</sup>, Пищальник Владимир Михайлович<sup>2</sup>,  
Архипкин Виктор Семенович<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ИО РАН (Москва); <sup>2</sup>СахГУ (Южно-Сахалинск); <sup>3</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва)

Исследована трансформация биогенных веществ (БВ) и нефтяных углеводородов (НУ) в акваториях юго- и северо-восточного шельфа Сахалина (ЮВШС и СВШС), в которых выделены соответственно районы 1–3 и 1–4. В работе использованы: ГИС «Сахалинский шельф» (для восстановления термохалинных показателей морской среды), Океаническая модель Бергенского университета (для вычисления по термохалинным показателям направлений/скоростей течений и водообмена между выделенными районами и открытыми водами Охотского моря); Гидроэкологическая CNPSi-модель – для расчетов внутригодовой динамики концентраций органических и минеральных БВ, участвующих в трансформации химических веществ биомасс организмов (бактерий - гетеротрофов  $B1$  и НУ-окисляющих  $B2$ , трех групп фитопланктона  $F1–F3$ , двух групп зоопланктона  $Z1–Z2$ ), а также значений внутренних/внешних потоков БВ и НУ для характеристики особенностей их годовой динамики при активном водообмене и изменении параметров морской среды.

Расчеты на CNPSi-модели выполнены для двухлетнего цикла для точной оценки для второго года начальных концентраций БВ, отвечающих среднемноголетним значениям показателей морской среды. При этом обеспечивается условие «замыкания года» (близких концентраций БВ в начале и в конце второго года). «Сходимость» концентраций БВ – свидетельство сбалансированности комплекса факторов морской среды, влияющих на изменение концентраций веществ и развитие биомасс организмов.

Речной сток – основной внешний источник БВ для акваторий шельфа Сахалина. В район 3 (СВШС) со стоком р. Тымь поступает за год: DOC – 5.97 тыс. т С, DON – 0.12, NH<sub>4</sub> – <0.01, NO<sub>2</sub> – <0.01, NO<sub>3</sub> – 0.08, ND – 0.30 тыс. т N, DIP и DOP – по 0.02, PD – 0.09 тыс. т P, DISi – 2.38 тыс. т Si, НУ – 50 т. От годового речного стока БВ на май–июнь приходится ~50–79.5%, на зимние месяцы – <10%, а на летние и осенние месяцы – ~15–25%. Со стоком рек Поронай и Найба в район 1 (ЮВШС) за год поступает: DOC – 221.5 тыс. т С, DON – 3.2, NH<sub>4</sub> – 2.5, NO<sub>2</sub> – 1.1, NO<sub>3</sub> – 48.5, ND – 11.1 тыс. т N, DIP – 1.1, DOP – 0.7, PD – 3.3 тыс. т P, DISi – 3.0 тыс. т Si, НУ – 1.6 тыс. т НУ. На май–июнь приходится 70–85%, на зимние месяцы – <5%, на летние и осенние месяцы – 10–25% годового стока БВ. Вклад атмосферных осадков в нагрузку по БВ на акватории СВШС и ЮВШС незначителен из-за малых отношений скоростей выпадающей влаги к объемам вод верхнего слоя. Активная динамика вод (в ЮВШС особенно) сильно влияет на запас БВ и на развитие организмов в морской среде.

Основную роль в развитии биогидрохимических процессов в морской среде играет внутренний естественный рецикл / круговорот БВ, определяемый жизнедеятельностью организмов ( $B1$ ,  $B2$ ,  $F1–F3$ ,  $Z1–Z2$ ), осуществляющих потребление веществ-субстратов, выделение в морскую среду продуктов обмена и образующих отмершую биомассу (или детрит). Оценены характерные внутригодовые изменения концентраций органических и минеральных БВ: зимой в воде нет активного потребления организмами БВ, и в поверхностном слое концентрации DON, NO<sub>3</sub>, ND, DOP, PD и форм Si повышены; весной при активизации роста биомасс организмов содержание растворенных органических и



минеральных БВ снижается; летом при развитии продукционных процессов возрастает запас органических веществ в воде; в конце осени–начале зимы активность организмов снижается, а запас органических и минеральных БВ в водной среде восстанавливается. Несколько максимумов и минимумов в течение года отмечено в изменениях концентраций минеральных БВ (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, DIP, DISi) и в детрите (ND, PD и SiD). Выявлены подобию и отличия по районам ЮВШС и СВШС внутригодовых изменений концентраций БВ, их амплитуд и соотношений. Для большей части переменных (NO<sub>3</sub>, N<sub>min</sub>, DIP, DOP, DISi, ND, PD, SiD) их динамика в течение года в акваториях ЮВШС и СВШС существенно не отличается. Для DON обнаружено подобие во внутригодовых изменениях концентраций по отдельным районам: например, снижение содержания DON в середине года в районах 1 и 3 (ЮВШС) и в районах 1–3 (СВШС), а повышение концентрации DON – в осенний период в районе 2 (ЮВШС) и в районе 4 (СВШС). Кардинальные отличия имеются во внутригодовой динамике концентраций NH<sub>4</sub> и NO<sub>2</sub>: в водах ЮВШС образуется в течение года несколько промежуточных максимумов их концентраций, а в водах СВШС – по одному максимуму в середине года. Отмеченные в середине года в водах районов 1, 2 и 4 (СВШС) максимальные концентрации NH<sub>4</sub> (0.0198–0.0285 мг N/л) выше, а NO<sub>2</sub> (0.0060–0.0079 мг N/л) ниже в сравнении с максимальными концентрациями этих компонентов в водах ЮВШС (NH<sub>4</sub>: 0.0127–0.0170; NO<sub>2</sub>: 0.0060–0.0096 мг N/л). Содержание DOSi в водах ЮВШС в середине года повышается, а в водах СВШС – снижается.

Выявлены характерные изменения соотношений отдельных БВ к суммарным концентрациям N и P, а также между агрегированными фракциями форм (растворенных N<sub>dis</sub>, P<sub>dis</sub> и взвешенных N<sub>par</sub>, P<sub>par</sub>) к суммарным концентрациям N<sub>tot</sub> и P<sub>tot</sub>. В водах районов 1–3 ЮВШС диапазон изменения в течение года концентраций N<sub>tot</sub> составляет 0.933–1.520; 0.388–0.719 и 0.485–1.261 мг N/л, а P<sub>tot</sub> – 0.036–0.057; 0.034–0.081 и 0.042–0.087 мг P/л. В водах районов 1–4 СВШС концентрации N<sub>tot</sub> меняются в пределах 0.620–0.679, 0.392–0.692, 0.530–0.682 и 0.243–0.932 мг N/л, а концентраций P<sub>tot</sub> – 0.023–0.044, 0.030–0.063, 0.011–0.029 и 0.017–0.070 мг P/л. Уже на этой стадии выявляются отличия районов по нижним и верхним пределам, а также амплитудам изменения концентраций N<sub>tot</sub> и P<sub>tot</sub>. Эти отличия в значениях нижних/верхних пределов и амплитуд N<sub>tot</sub> и P<sub>tot</sub> существенны и сказываются на динамике отдельных их фракций и биомасс организмов в районах 1–3 ЮВШС. По соотношению концентраций БВ можно установить, насколько сбалансированы внутриводоемные процессы биогидрохимической трансформации веществ, которые определяют круговорот БВ в морской среде и их поступления в акватории (с речным стоком, при переносе вод – горизонтальном между районами и вертикальным между слоями), а также при водообмене через границы с открытыми участками Охотского моря. Общий диапазон изменчивости отношений концентраций N<sub>tot</sub> : P<sub>tot</sub> в водах районов 1–3 (ЮВШС) составляет (23–28) : 1 (среднее 25:1), (10.3–13.4) : 1 (11.8:1) и (11.1–16.2) : 1 (13.6:1), а в районах 1–4 (СВШС) – (15.4–26.6):1 (21.0:1), (11.1–13.3):1 (12.2:1), (23.8–47.3):1 (35.5:1) и (13.3–14.7):1 (14.0:1) и в целом они выше в прибрежных (районы 1 и 3), чем в удаленных от берега районах (2 и 4).

Внутригодовые изменения концентраций, соотношений БВ и агрегированных их фракций в водах районов ЮВШС и СВШС дополняют данные по динамике биомасс организмов и показателей их активности – удельных скоростей роста (k<sub>0i</sub>, сут<sup>-1</sup>) и биопродукции (БП<sub>i</sub>), которые для разных периодов года имеют в каждом районе характерные значения. Повышенные величины k<sub>0</sub>, обозначающие благоприятные условия

для развития биомасс, по срокам на неделю–две предшествуют наибольшим значениям биомасс организмов. Значения БП<sub>i</sub> вычисляются по внутренним потокам БВ, формирующим биомассы в морской среде, при вычитании потоков биомасс, образованной в соседних районах и привнесенной в рассматриваемый район водными потоками).

Расчеты показали, что для акваторий ЮВШС и СВШС характерны общие тенденции изменения в течение года биомасс организмов (В<sub>1N</sub>, F<sub>1N</sub>–F<sub>3N</sub>, Z<sub>1N</sub> и Z<sub>2N</sub>) при отдельных различиях фиксируемых значений биомасс организмов. Например, в акваториях СВШС образуются более высокие биомассы В<sub>1N</sub> и в целом выше значения k<sub>0</sub>V<sub>1</sub>, чем в акватории ЮВШС. Развитие биомасс F<sub>1N</sub> в указанных акваториях можно считать сопоставимым, однако весенний максимум F<sub>1N</sub> по значениям в целом выше в акватории СВШС (0.0163–0.0219 мг N/л), а осенний максимум F<sub>1N</sub> – выше в акватории ЮВШС (0.0192–0.0209 мг N/л), тогда как значения k<sub>0</sub>F<sub>1</sub> при формировании весеннего максимума биомассы F<sub>1N</sub> в целом выше в водах ЮВШС (0.225–0.874 сут<sup>-1</sup>), а осеннего – в водах СВШС (0.091–0.319 сут<sup>-1</sup>).

Значения четырех максимумов биомасс F<sub>2N</sub> в среднем в 2 раза выше в акватории СВШС, а значения k<sub>0</sub>F<sub>2</sub> для формирования этих максимумов меняются по районам указанных акваторий в разных пределах: в водах ЮВШС – соответственно 0.643–0.678, 0.265–0.394, 0.349–0.414 и 0.080–0.127 сут<sup>-1</sup>, и в водах СВШС – 0.427–0.564, 0.230–0.389, 0.230–0.416 и 0.322–0.430 сут<sup>-1</sup> (с тенденцией превышения значений k<sub>0</sub>F<sub>2</sub> для первых трех максимумов F<sub>2N</sub> в водах ЮВШС, а для четвертого максимума – в водах СВШС).

Значения трех максимумов биомасс F<sub>3N</sub> в среднем в 5 раз выше в водах акватории СВШС, а пределы изменения k<sub>0</sub>F<sub>3</sub> для формирования максимумов меняются по районам – в водах ЮВШС – соответственно 0.506–0.664, 0.485–0.530 и 0.230–0.426 сут<sup>-1</sup> в районах 1–3 и в водах СВШС – 0.148–0.275, 0.277–0.347, 0.141–0.280 и 0.213–0.303 сут<sup>-1</sup> в районах 1–4 (с общей тенденцией превышения k<sub>0</sub>F<sub>3</sub> при формировании максимумов F<sub>3N</sub> в водах ЮВШС).

Значение первого максимума Z<sub>1N</sub> и k<sub>0</sub>Z<sub>1</sub> выше для акватории СВШС – соответственно (1.35–3.94)×10<sup>-2</sup> мг N/л и 0.351–0.605 сут<sup>-1</sup>, а для второго максимума Z<sub>1N</sub> – указанные показатели выше в акватории ЮВШС – (2.14–3.11)×10<sup>-2</sup> мг N/л и 0.228–0.392 сут<sup>-1</sup>. Также выше в акватории ЮВШС формирующаяся биомасса Z<sub>2N</sub>, в частности, первый и второй ее максимумы – (1.02–1.80)×10<sup>-2</sup> и (1.69–1.80)×10<sup>-2</sup> мг N/л, и значения k<sub>0</sub>Z<sub>2</sub> (0.314–0.635 и 0.353–0.368 сут<sup>-1</sup>) для формирования указанных максимумов Z<sub>2N</sub>.

Если значения биомасс организмов и удельные скорости их роста k<sub>0i</sub> служат объективными показателями состояния морской среды и биогидрохимических условий трансформации БВ в ней, то оцененные значения биопродукции организмов оказываются не сопоставимыми для разных акваторий при существенных отличиях в значениях морфометрических параметров исследуемых районов и высоких скоростей водообмена через хотя бы одну границу между районами. В данном случае значения указанных параметров в районах ЮВШС формируют повышенный перенос БВ и биомасс через границы районов. Поэтому расчетные значения БП<sub>i</sub> в районах ЮВШС не адекватно отражают условия развития биомасс организмов (БП<sub>i</sub> остаются низкими из-за высоких значений непрерывно циркулирующих потоков веществ через границы районов). Другими словами «биомасса не задерживается» в водах конкретных районов ЮВШС, и поэтому расчетные значения БП<sub>i</sub> организмов не служат обобщенными экологическими критериями состояния морской среды и развития в ней биогидрохимических процессов трансформации / круговорота БВ и формирования биопродукции организмов. При общей сопоставимости для акваторий ЮВШС и СВШС значений биомасс организмов и удельных скоростей их роста, расчетные

значения БПі оказываются для акватории ЮВШС на несколько порядков величин ниже в сравнении с СВШС. Этот факт служит прекрасным примером выявляемого с помощью системного анализа и математического моделирования непосредственного воздействия активной динамики вод, как фактора среды обитания, на биогидрохимические процессы.

В разные месяцы при водообмене через границы между районами 1, 2 и 4 (СВШС) в верхний слой поступает соответственно 0.11–12.22, 0.00–11.30 и 0.00–27.87 тыс. т НУ/мес. «Чистое» поступление НУ (с учетом потерь на обратный вынос водным потоком) в воды районов 1, 2 и 4 при водообмене составляет соответственно 29.40, 38.28 и 63.48 тыс. т НУ/год (в районе 3 этот поток отрицателен, так как вынос НУ – существенно выше его привноса), а при водообмене с открытыми водами Охотского моря в районы 2 и 4 – 25.09 и 42.50 тыс. т НУ/год (для района 1 этот поток отрицателен, а для района 3 водообмена с открытыми водами Охотского моря нет). Скорости выделения НУ со дна в нижнем слое оценены меняющимися в разные месяцы в районах 1–4 СВШС соответственно в пределах  $(0.343–2.948) \times 10^{-3}$ ,  $(0.1–3.769) \times 10^{-3}$ ,  $(0.1–2.4) \times 10^{-3}$  и  $(0.277–3.769) \times 10^{-3}$  мг НУ/(л сут).

До ~125-х сут концентрации НУ в верхнем слое в районах 1–4 СВШС меняются мало; промежуточный их максимум в районах 1–4 формируется на 180-е, 164-е, 154-е и 168-е сут (соответственно 0.0135, 0.0142, 0.0734 и 0.0252 мг НУ/л). Далее – снижение концентраций НУ, которые в 196-х–315-х сут в районах 1–4 составляют  $(0.2–2.7) \times 10^{-3}$  мг НУ/л. Снижение концентраций НУ начинается с активизации роста бактерий В2 (185-е – 197-е сут), их максимумы биомасс В2 в водах районов 1 – 4 достигаются на 245-е, 272-е, 192-е и 219-е сут (соответственно 0.0252, 0.0245, 0.0172 и 0.0145 мг НУ/л). Наибольшие значения  $k_0V_2$  (0.154–0.196 сут<sup>-1</sup>) отмечены при активном росте биомасс В2 (на 171-е – 188-е сут). При достижении и сохранении наибольших значений биомасс В2 отмечались изменения  $k_0V_2$  в узких пределах: в районах 1–3 (0.001–0.010 сут<sup>-1</sup>) на 226-е – 281-е сут, и в районах 2–4 (0.010–0.020 сут<sup>-1</sup>) на 220-е – 305-е сут. Быстрое снижение биомассы В2 в районах 1–2, 3 и 4 следует соответственно на 310-е – 317-е, 202-е – 317-е и 243-и – 315-е сут. В последние дни декабря значения В2 снижаются до  $(4.6–27.2) \times 10^{-5}$  мг НУ/л в водах районов 1–4 (СВШС).

В водах районов 1–4 СВШС в нижнем слое значения биомасс В2 снижаются в первые 30 сут соответственно до  $7.04 \times 10^{-3}$ ,  $6.64 \times 10^{-3}$ ,  $2.10 \times 10^{-3}$  и  $1.77 \times 10^{-3}$  мг Н/л. При увеличении запаса НУ с конца весны в нижнем слое начинается рост биомассы В2, а к 178-м сут устанавливаются их высокие значения (в районах 1, 2 и 3–4 соответственно 0.0160–0.0169, 0.0140–0.0147 и 0.005–0.007 мг НУ/л), сохраняемые до 254-х сут. Далее значения биомасс В2 регулируются содержанием в водах НУ: в районах 1 и 2 после снижения происходит к концу года возрастание значений биомассы В2 (соответственно до 0.0161 и 0.0122 мг НУ/л), в районах 3 и 4 – биомасса В2 сначала возрастает, а к концу года снижается (соответственно до 0.0062 и 0.0090 мг НУ/л).

В районах 1–3 ЮВШС с начала года концентрации НУ увеличиваются: в районах 2 и 3 со скоростями  $2.472 \times 10^{-4}$  и  $6.841 \times 10^{-4}$  мг НУ/(л сут) до 39-х и 41-х сут, а в районе 1 – сначала с малой скоростью ( $1.174 \times 10^{-4}$  мг НУ/(л сут) до 123-х сут, а затем – с повышенной скоростью ( $7.487 \times 10^{-4}$  мг НУ/(л сут)) до 137-х сут. Максимумы содержания НУ отмечены в разные сроки (в водах районов 1–2 и 3 составляют ~0.02 и 0.042 мг НУ/л). С ростом биомасс В2 происходит снижение концентраций НУ в районах 1–3 и формирование летних минимумов НУ (~0.002 мг НУ/л). В районе 1 формируются два максимума: резкий пик на 152-е сут (0.0095 мг НУ/л при наибольших значениях  $k_0V_2$  – 0.238 сут<sup>-1</sup> на 137-е сут) и достаточно продолжительный период повышенных ее значений на 236-е – 281-е сут (с

колебаниями  $B_2$  0.0097–0.0106 мг НУ/л при максимуме  $k_0B_2$  – 0.011 сут<sup>-1</sup> на 209-е сут). В глубоководных районах 2 и 3 наибольшие значения биомассы  $B_2$  достигаются на 236-е и 180-е сут (0.013 и 0.014 мг НУ/л), наибольшие значения  $k_0B_2$  – 0.103 и 0.130 сут<sup>-1</sup> (приходятся в районах 2 и 3 соответственно на 154-е и 135-е сут). Возрастание концентраций НУ начинается с 308-х и с 322-х – 329-х сут соответственно в районах 1 и 2–3 ЮВШС.

Для верхнего и нижнего слоев в районах 1–4 СВШС составлен баланс потоков НУ (потоки: 1 – потребление бактериями  $B_2$ ; 2 – в районы 1, 2 и 4 привнос НУ водными потоками из открытых районов моря, а для района 3 – со стоком р. Тымь; 3 – вынос водными массами НУ в открытые районы моря; 4 – поступление НУ их внешних источников, а в нижнем слое – из осадков; 5 – вертикальный перенос НУ). Суммарные положительные и отрицательные потоки НУ равны соответственно +55987.483 и –58318.594 тыс. т НУ (вклад районов 1 и 2 в потоки – положительные (48.2 и 33.4%) и отрицательные (45.9 и 36.3%), а районов 3 и 4 – положительные (7.3 и 11.2%) и отрицательные (6.9 и 10.9%). Разность потоков для районов 1 и 3 положительная (+215.234 и +71.010 тыс. т НУ), а для районов 2 и 4 – отрицательная (–2514.066 и –103.289 тыс. т НУ); общая для акватории СВШС разность потоков равна –2331.111 тыс. т НУ. Полученная невязка баланса потоков НУ для районов 1 и 3 невелика – <1% (0.8–0.2%); для районов 2 и 4 – она выше (13.5–1.7%). Общая невязка баланса потоков НУ для акватории СВШС оценена достаточно малым значением (всего 4.2%). Для акватории ЮВШС подобный баланс НУ пока составить невозможно из-за недостатка информации.

## **СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: ОКЕАНОЛОГИЯ**

**Течения прибрежной зоны Балтийского моря в районе Самбийского полуострова: изменчивость и реакция на ветровую ситуацию.**

**Василевская Валерия Алексеевна<sup>1</sup>, Дриго Илья Вячеславович<sup>1</sup>,  
Слепцов Георгий Андреевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, кафедра океанологии; <sup>2</sup>МФТИ(ГУ), кафедра термогидромеханики океана.

В течение 6 лет (в период 2009-2016) в июле – августе студенты кафедры океанологии МГУ им. М. В. Ломоносова; МФТИ; а так же БФУ им. И. Канта проводили исследования структуры прибрежных вод Балтийского моря близ Самбийского полуострова, Калининградская область. Одним из основных видов работ во все года экспедиций, являлось измерение течений. В 2009-2011 гг. течения измерялись с помощью точечного акустического доплеровского измерителя скоростей FSI 2D ACM; в 2014 – 2016 годах – с помощью акустического доплеровского измерителя течений ADCP RDI Workhorse 600Hz. Был построен ряд профилей скоростей течения по повторяющимся разрезам, рассчитаны расходы, а также построены схемы циркуляции вод на различных горизонтах. Кроме данных непосредственных измерений, для работы были привлечены данные гидрометеорологических численных моделей и данные метеостанций по скорости и направлению ветра.

Основная цель работы – выяснить зависимость особенностей циркуляции прибрежных вод близ Самбийского полуострова от ветровой ситуации и время реакции поля течений на изменение поля ветра.

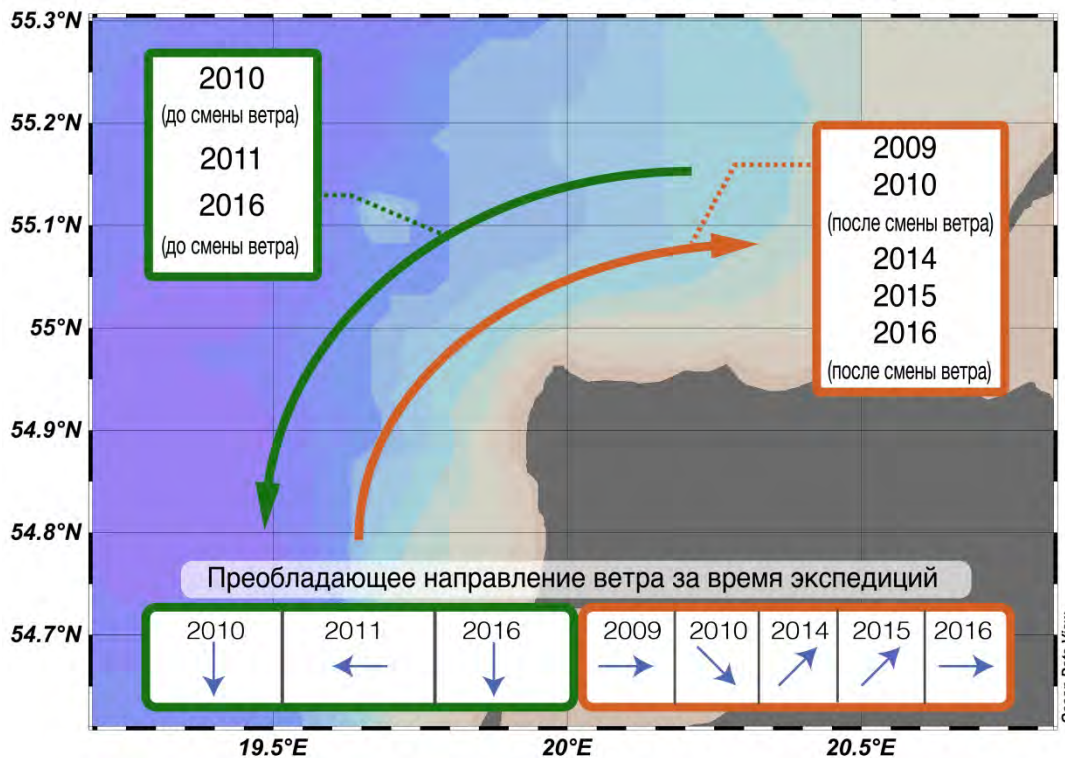


Рис.1 Общая схема циркуляции вод близ Самбийского полуострова за года наблюдений

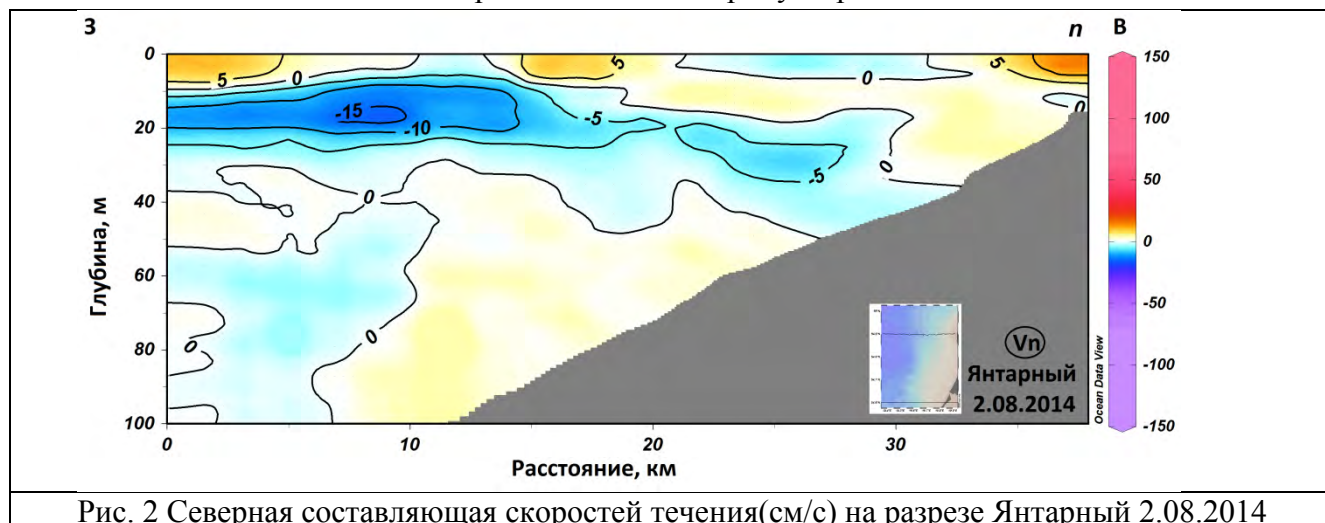
Видно, что генеральное направление течений в данном районе направлено вдоль берега либо на север с поворотом на восток, либо на запад с поворотом на юг. Направление течения



зависит от направления ветра. Проанализировав данные по метеобстановке в районе Самбийского полуострова за период с 2009 по 2016 года, а также инструментальные данные о направлениях течений вдоль его побережий (рис.1), полученные в ходе натуральных измерений, проходивших в этот период, можно отметить следующие закономерности:

- При господствующих ветрах С, СВ, В и ВЮВ румбов у западного побережья Самбийского полуострова наблюдается южное течение, у северного побережья - западное;
- При господствующих ветрах СЗ, З, ЮЗ, Ю и ЮВ румбов у западного побережья Самбийского полуострова наблюдается северное течение, у северного побережья - восточное;
- Скорость изменения генерального направления течения вдоль побережья Самбийского полуострова, как отклик на ветровое воздействие, зависит от скорости изменения направления и от силы ветра.

На рис. 2, 3, 4 приведена северная составляющая скоростей течений на разрезе «Янтарный». Поскольку разрез расположен квазиширотно, северная составляющая скоростей течения отражает перенос вод в точке измерения. Разрез на рис. 2 произведен во время экспедиции 2014 года, разрезы на рис. 3 и 4 – во время экспедиции 2016 года. Видно, что основной перенос на рис. 2 и 4 направлен на север, тогда как на рис. 3 происходит слабый перенос вод на юг. При этом на разрезе 2014 года (рис.2) так же наблюдается сильная неоднородность в интенсивности течения на разрезе – существует как южнонаправленный, так и северонаправленный перенос, однако северный перенос преобладает. 12.06.2016 (после поворота течения) (рис.4) наблюдается усиление вдольберегового потока с постепенным ослаблением его интенсивности при движении в сторону моря.



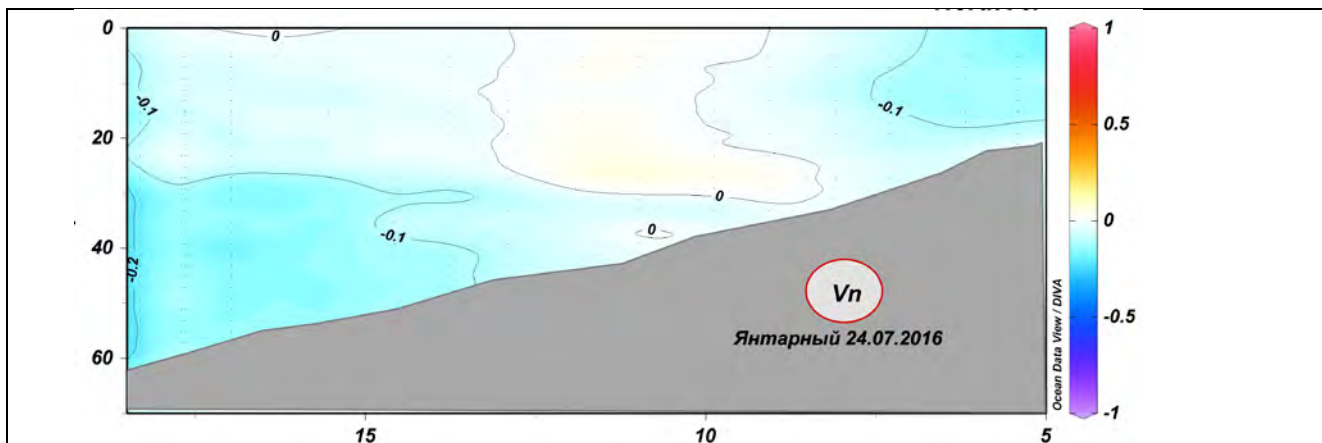


Рис. 3 Северная составляющая скоростей течения (м/с) на разрезе Янтарный 24.07.2016

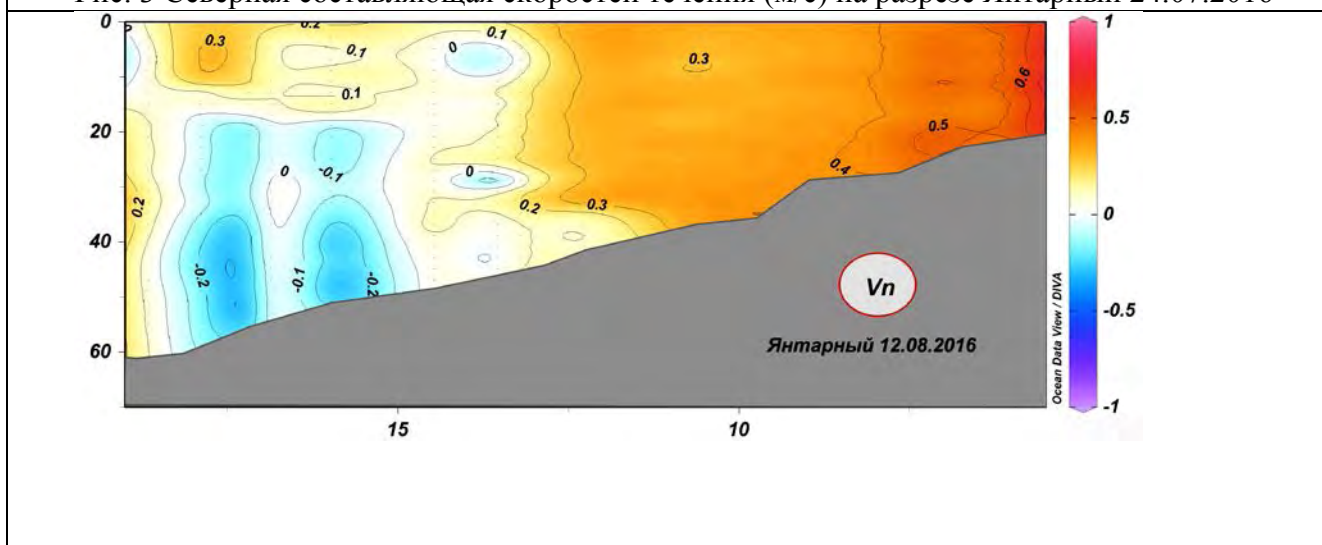


Рис. 4 Северная составляющая скоростей течения (м/с) на разрезе Янтарный 12.07.2016

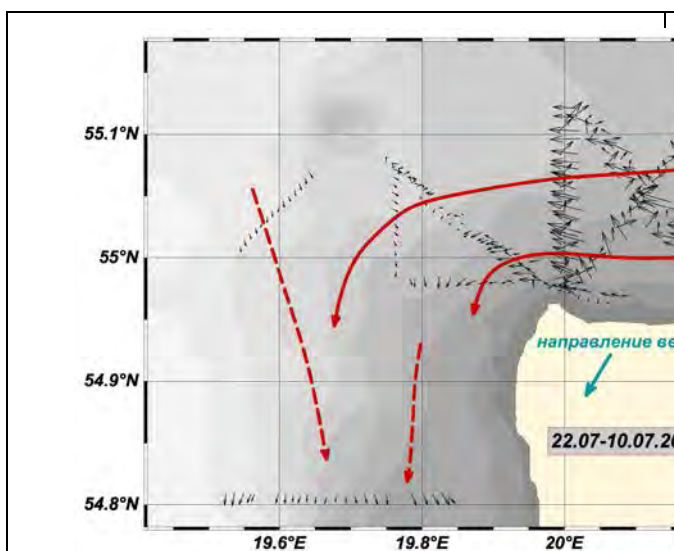


Рис. 5 Поле течений в 2016г. до смены ветра

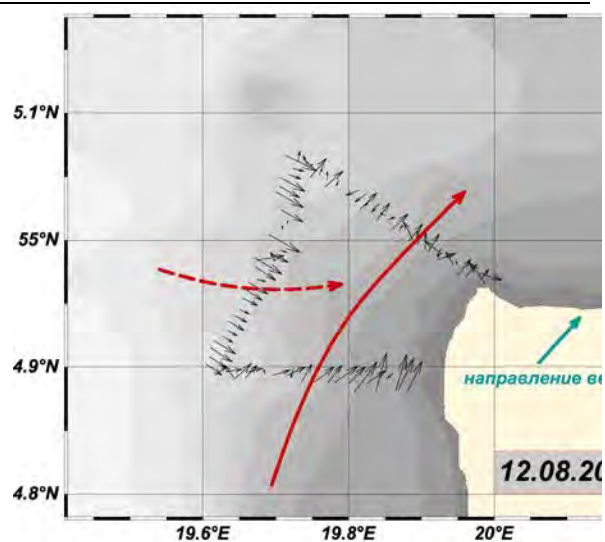


Рис.6 Поле течений в 2016г. после смены ветра

Генеральное направление течений менялось во время экспедиций в 2010 и 2016 годах.

В июле 2010 года смена направления течения с южного и западного на северное и восточное (вдоль побережий) произошла в период с 17-го по 20-ое июля. Штормовые ветра

изменили свое направление с ЮВ на СЗ 18 июля, вероятно течение изменило свое направление с 18-го по 20-е июля вслед за ветром.

В конце июля 2016 года вблизи Самбийского полуострова наблюдалась маловетренная погода, течения южной направленности вдоль западного побережья и западной вдоль северного. С 1-го августа имели место сильные западные и юго-западные ветры. За этот четырехдневный период произошла смена генерального направления течений на северное и восточное соответственно. При этом ветер изменился со слабого северного – северо-восточного на сильный западный – юго-западный. (Рис. 5, 6)

Было проведено сравнение инструментальных измерений за 2016 год с расчетом геострофических течений по данным базы данных спутникового зондирования абсолютной топографии Ssalto/Duacs. Течение в изучаемом районе в целом не геострофично, что можно связать с преобладанием ветровых течений в прибрежной зоне.

Сравнение инструментальных измерений 2015 и 2016 года проводилось так же и с данными гидродинамической модели немецкой численной модели BSH Operational Model System. Отмечается лишь частичное совпадение модельных и инструментальных данных и в 2015 и в 2016 году.

**Биооптические показатели прибрежных вод Крыма в январе-феврале 2016 года.**  
**Ефимова Татьяна Владимировна, Чурилова Татьяна Яковлевна, Моисеева Наталья Александровна, Коваль Екатерина Александровна, Кривенко Ольга Валерьевна**  
*ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь*

В настоящее время для оценки показателей продуктивности вод широко используется спутниковая информация. Для Черного моря необходимо создавать алгоритмы, учитывающие особенности биооптических характеристик вод конкретного региона. К настоящему моменту выявлены сезонные особенности биооптических характеристик вод в глубоководных районах Чёрного моря [3, 4, 5], а также в районе Севастопольской бухты [5]. Однако, данных по биооптическим показателям прибрежных вод недостаточно для параметризации поглощения света оптически активными компонентами. Целью настоящей работы являлся анализ вариабельности биооптических характеристик прибрежных вод Крыма в зимний период.

Методы. Исследования проводились в прибрежье Крыма в 83 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» зимой 2016 года (рис. 1). Пробы отбирали с помощью кассеты батометров STD зонда Mark-3 с разных горизонтов зоны фотосинтеза, с учетом вертикального профиля температуры и прозрачности воды, которую оценивали по глубине видимости диска Секки ( $Z_s$ ). Глубину зоны фотосинтеза ( $Z_{eu}$ ) (1 % от падающей на поверхность моря фотосинтетически активной радиации (ФАР)), рассчитывали на основе зависимости ослабления света с глубиной [12], используя связь диффузионного коэффициента ослабления света с  $Z_s$  [2].

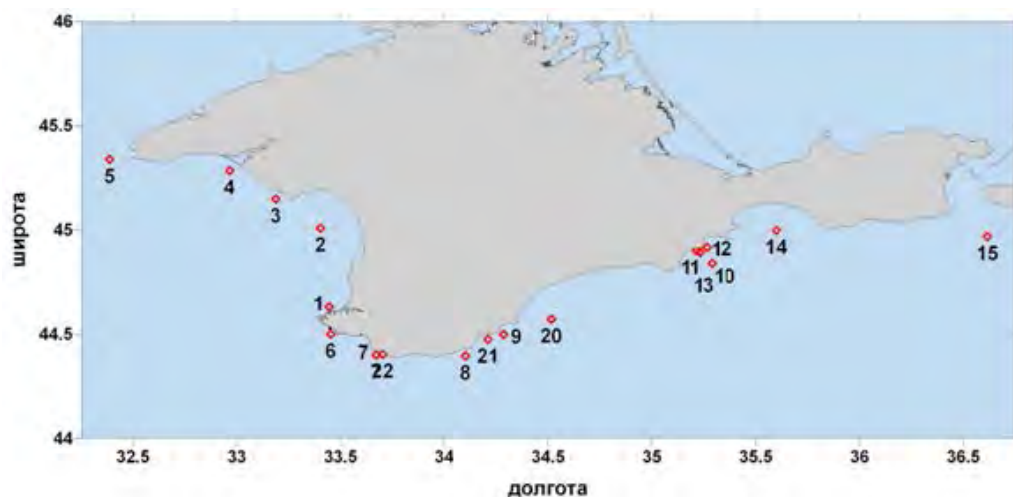


Рис. 1. Станции отбора проб в Чёрном море в 83 рейсе НИС «Проф. Водяницкий», 27 января - 03 февраля 2016 г.

Концентрацию хлорофилла  $a$  ( $C_a$ ) определяли по ГОСТ 17.1.4.02-90. Поглощение света взвешенным веществом ( $a_p(\lambda)$ ) измеряли по методике [18, 13].  $a_p(\lambda)$  разделяли на фитопланктонную ( $a_{ph}(\lambda)$ ) и несвязанную с фитопланктоном ( $a_{NAP}(\lambda)$ ) составляющие по методу [17].  $\beta$ -коррекцию коэффициентов поглощения света проводили по [14]. Поглощение света окрашенным растворенным органическим веществом ( $a_{CDOM}(\lambda)$ ) выполняли по [16]. Оптические измерения проводили на двухлучевом спектрофотометре Lambda 35 (Perkin

Elmer): в диапазоне длин волн от 250 до 750 нм для  $a_{CDOM}(\lambda)$ , и от 350 до 750 нм с использованием интегрирующей сферы для  $a_p(\lambda)$  и  $a_{NAP}(\lambda)$ .

Результаты и обсуждение. В поверхностном слое моря  $C_a$  практически на всех станциях изменялась от 0,91 до 1,7 мг м<sup>-3</sup>, и в среднем составляла 1,1 (± 0,2) мг м<sup>-3</sup>. На ст. 15 отмечено повышенное значение  $C_a$  (2,6 мг м<sup>-3</sup>), что вероятно связано с близостью к Керченскому проливу и смешением с высокопродуктивными водами, поступающими из Азовского моря.

Практически на всех станциях отмечено сравнительно равномерное распределение  $C_a$  (рис. 2) в пределах верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), характерное для холодного периода года. На основании однородности температуры в исследуемом слое можно предположить о высокой скорости конвективного перемешивания, что и определило однородность распределения  $C_a$  в исследованном слое 40 - 50 м. Отмеченное содержание пигментов в прибрежных водах Крыма зимой 2016 г. соответствует значениям  $C_a$  (~ 1,0 – 1,6 мг м<sup>-3</sup>), полученным ранее [1, 6].

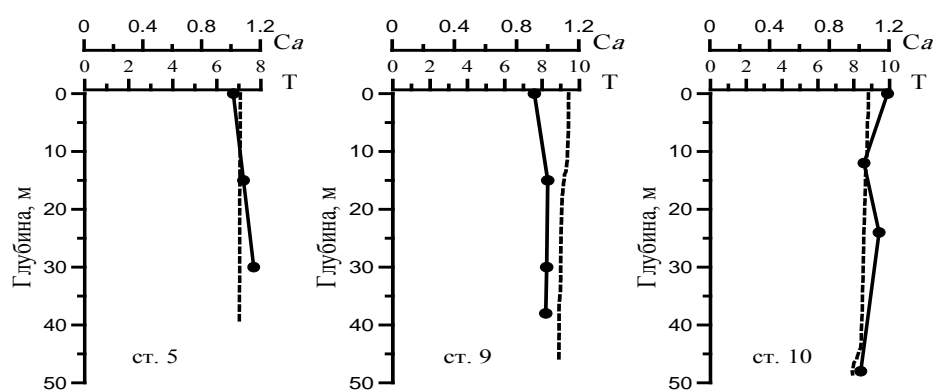


Рис. 2. Изменение с глубиной температуры (Т) (пунктирная) и концентрации хлорофилла  $a$  ( $C_a$ ) (сплошная) на отдельных станциях в Черном море в январе-феврале 2016 г.

Прозрачность вод, оцениваемая по  $Z_s$ , изменялась более, чем в два раза (5 - 12 м). Зона фотосинтеза составляла ~ 14 – 30 м. Следовательно, ВКС, в котором практически равномерно перемешан фитопланктон, превышает освещенный слой в ~ 1,5 – 2 раза.

В поверхностном слое величины коэффициентов поглощения света пигментами фитопланктона изменялись почти в два раза, что в основном связано с изменением содержания пигментов фитопланктона. Аналогично характеру вертикального распределения пигментов отмечена вертикальная однородность и по светопоглощающим характеристикам фитопланктона. Форма спектров  $a_{ph}(\lambda)$  в слое ВКС практически не менялась (рис.3А). Соотношение между коэффициентами поглощения света на длинах волн ~ 440 и 678 нм, соответствующих основным максимумам спектра в синей и красной областях, соответственно, варьировало слабо и в среднем составляло  $R = 1,9 \pm 0,24$ .

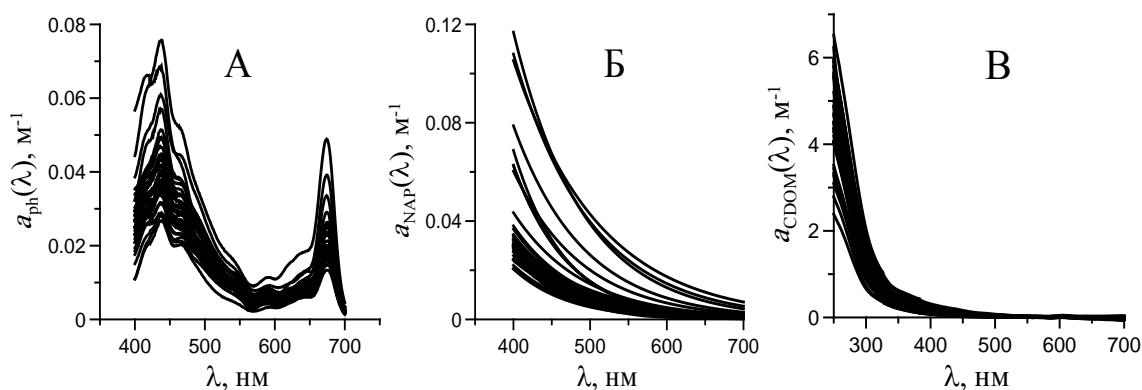


Рис. 3. Спектры коэффициентов поглощения света пигментами фитопланктона ( $a_{ph}(\lambda)$ ) (А), неживым взвешенным веществом ( $a_{NAP}(\lambda)$ ) (Б) и окрашенным растворенным органическим веществом ( $a_{CDOM}(\lambda)$ ) (В) в прибрежных водах Крыма в январе-феврале 2016 г.

Установлена зависимость  $a_{ph}(440)$  и  $a_{ph}(678)$  от  $C_a$  (рис. 4), которая описывается степенными уравнениями вида  $y = A(\lambda) x^B(\lambda)$ :

$$a_{ph}(440) = 0,036 C_a^{0,80}, r^2=0,63; \quad (1)$$

$$a_{ph}(678) = 0,018 C_a^{0,94}, r^2=0,93. \quad (2)$$

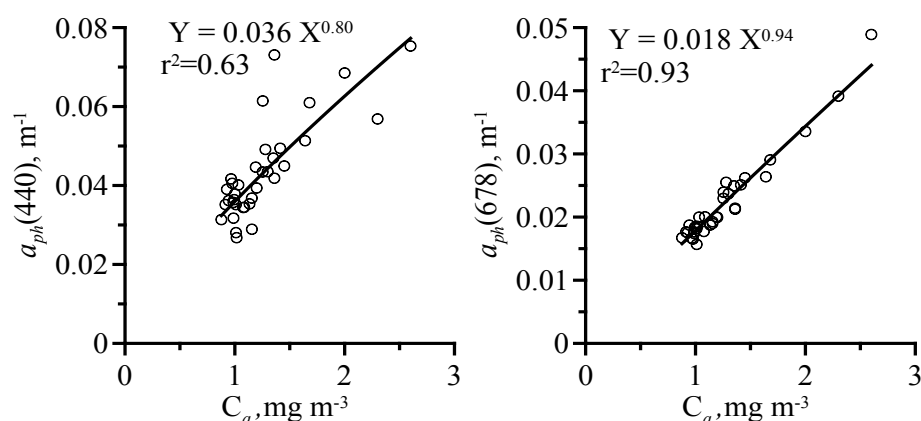


Рис. 4. Зависимость коэффициентов поглощения света пигментами фитопланктона на длинах волн 440 нм ( $a_{ph}(440)$ ) и 678 нм ( $a_{ph}(678)$ ) от концентрации хлорофилла  $a$  ( $C_a$ ) в прибрежных водах Крыма в январе-феврале 2016 г.

Степенные коэффициенты ( $B(\lambda)$ ) в уравнениях (1) и (2) меньше единицы, что свидетельствует о снижении величин удельных (нормированных на содержание  $C_a$ ) коэффициентов поглощения света фитопланктоном ( $a_{ph}^*(\lambda)$ ) с ростом  $C_a$ . Полученные величины коэффициентов  $A(\lambda)$  меньше, чем ранее отмечено для фитопланктона глубоководного района моря в летний и зимний периоды [4, 5]. Отмеченное снижение величин  $a_{ph}^*(\lambda)$ , вероятно, связано с влиянием световых условий на концентрацию пигментов в клетках фитопланктона. Известно, что величина  $a_{ph}^*(678)$  зависит от внутриклеточной концентрации пигментов и от размера клеток микроводорослей [15]. В условиях типичной для зимнего времени низкой ФАР и гидрологических особенностей района исследований,



когда ВКС практически в два раза превышал *Zeu*, фитопланктон существовал при интенсивности света ниже не только летних световых условий ВКС, но и таковых в декабре 2014 г., когда ВКС совпадал с *Zeu*.

Спектральное распределение поглощения света неживой компонентой взвеси ( $a_{NAP}(\lambda)$ ) описывается экспоненциальной зависимостью (рис.3Б). Коэффициент экспоненты  $a_{NAP}(\lambda)$  в среднем составлял  $0,012 \pm 0,0016 \text{ нм}^{-1}$ , что сопоставимо с *S*, полученной для глубоководного региона Черного моря в декабре 2014 г. [5]. Относительный вклад  $a_{NAP}(440)$  в поглощение света взвешенным веществом составил  $38 \pm 11\%$ , что более чем в два раза превышает отмеченное для глубоководного региона моря ( $\sim 16\%$ ) в декабре 2014 г. [5].

Спектры поглощения света окрашенным растворённым органическим веществом представлены на рисунке 3В. Для диапазона 350 – 500 нм средняя величина показателя экспоненты  $S_{CDOM}$  равнялась  $0,018 (\pm 0,0030) \text{ нм}^{-1}$ . Отмеченный диапазон величины  $S_{CDOM}$  соответствует данным, полученным в разных районах Мирового океана, где величина *S* варьировала в пределах  $0,014 - 0,025 \text{ нм}^{-1}$  [7, 8, 9]. Коэффициент поглощения света окрашенным растворённым органическим веществом на длине волны 440 нм ( $a_{CDOM}(440)$ ) в среднем был равен  $0,081 (\pm 0,041) \text{ м}^{-1}$ . Доля  $a_{CDOM}(440)$  в общем поглощении света взвешенным и растворенным веществом составляла  $52 (\pm 13)\%$ , что меньше соответствующей величины ( $\sim 65\%$ ), установленной для глубоководного района в декабре 2014 г. [5].

Выводы. Получены новые данные о биооптических показателях прибрежных вод Черного моря зимой 2016 г. Для зимнего периода и условий, когда верхний перемешанный слой почти в два раза превышает зону фотосинтеза, отмечены самые низкие в годовом цикле удельные коэффициенты поглощения света фитопланктоном. Показано двукратное отличие прибрежных вод по относительно большей доле неживой взвеси в общем поглощении света взвешенным веществом в сравнении с глубоководным районом моря.

Авторы благодарят ведущего инженера ФГБУН ИМБИ Сахонь Е.Г. за помощь в отборе проб.

### Список литературы

1. Берсенева, Г.П.; Куфтаркова, Е.А. Сезонная динамика основных физиологических показателей фитопланктона в прибрежных деформированных экосистемах // экология моря, 1992 – 41 – с. 28 – 32.
2. Ведерников В.И. Первичная продукция и хлорофилл в Черном море в летне -осенний период//Структура и продукционные характеристики планктонных сообществ Черного моря М: Наука. – 1989. – С. 65 – 83.
3. Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Рылькова О. А. Параметризация поглощения света основными оптически активными компонентами в Черном море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. научн. тр. Севастополь, 2008. - Вып.16. - С. 190 - 201.
4. Чурилова Т.Я., Джулай А.А., Суслин В.В., Кривенко О.В., Ефимова Т.В., Муханов В.С., Рылькова О.А., Манжос Л.А. Биооптические показатели вод глубоководной части Черного моря: параметризация поглощения света фитопланктоном в осенний и летний периоды // Сборник научных трудов Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2014. – Вып. 28. - С. 320 – 333.

5. Чурилова Т.Я., Ефимова Т.В., Джулай А.А., Суслин В.В., Муханов В.С., Кривенко О.В. Биооптические характеристики вод Чёрного моря в зимний период // Тр. VIII международной конференции «Современные проблемы оптики естественных вод». - Санкт-Петербург, 2015 г. – с. 140-145.
6. Berseneva G. P., Churilova T. Ya., Georgieva L. V. Seasonal Variability of the Chlorophyll and Phytoplankton Biomass in the Western Part of the Black Sea // *Oceanology*, Vol. 44, No. 3, 2004, pp. 362–371.
7. Bricaud A., Morel A., Prieur L. Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains // *Limnol. Oceanogr.*, 1981 – V.26. – P. 43 -53.
8. Carder K.L., Steward R.G., Harvey G.R., Ortner P.B. Marine humic and fulvic acids: Their effects on remote sensing of ocean chlorophyll // *Limnol. Oceanogr.*, 1989. – V.34. – P. 68 – 81
9. Green S.A., Blough N.V. Optical absorption and fluorescence properties of chromophoric dissolved organic matter in natural waters. // *Limnol. Oceanogr.*, 1994. – V. 39. – P. 1903 – 1916
10. Hansell, D.A., C.A. Carlson, *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter* / 2014. Academic Press is an imprint of Elsevier, second edition, 693pp
11. Helms J. R., A. Stubbins, J. D. Ritchie, E. C. Minor, D.J. Kieber, K. Mopper Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter // *Limnol. Oceanogr.*, 2008. – V.53. – N 3. -P. 955 - 969
12. Kirk, J. T. O. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. 2nd edition / Cambridge University Press, 1994. P. 19-22.
13. Mitchell, B.G., D.A. Kiefer. Chlorophyll a specific absorption and fluorescence excitation spectra for light limited phytoplankton, *Deep- Sea Res.* – 1988. – Vol 35. – N 5. – P. 639 – 663.
14. Mitchell B.G. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT) / *Ocean Optics X* // Ed. R. Spinrad.- SPIE Bellingham, Washington. - 1990. – P. 137 – 148.
15. Morel A., A. Bricaud. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium and application to specific absorption of phytoplankton // *Deep – Sea Res.*, 1981. Part A. - 28A. - P.1375–1393
16. Mueller, J. L., Fargion G. *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 2*, NASA // *Technical Memorandum 2000-209966*. – 2000. – Revision 2.
17. Tassan S., Ferrari G.M. An alternative approach to absorption measurements of aquatic particles retained on filters // *Limnol. and Oceanol.* - 1995. – 40 (8). – P. 1358 – 1368.
18. Yentsch C. S. Measurement of visible light absorption by particulate matter in the ocean // *Limnol. Oceanogr.* (Engl. Transl.) 1962. - 7, P. 207–217.

## **Механизм возникновения и последствия крупнейших оползневых цунами.**

**Иванова Анастасия Алексеевна, Куликов Евгений Аркадьевич**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова (ИО РАН), г. Москва*

Второй по частоте после землетрясений причиной возникновения волн цунами служит сход оползней (около 6 % среди почти 2000 событий в базе данных по цунами [Gusiakov, 2010]). Подводные оползни, падение скал в воду, обвал берега, и возникающие при этом мутьевые потоки могут генерировать значительные волны цунами в прибрежных зонах океана. Известно, что в отличие от цунами чисто сейсмического происхождения, «оползневые» цунами носят обычно локальный характер. Однако по своей разрушительной силе они ни в чем не уступают «сейсмическим» волнам. Цунами в бухте Литуя (Аляска, США) было вызвано обвалом в воду скального материала в вершине бухты, что привело к образованию огромной волны, высота которой достигала 525 м. Жертвами самой высокой из известных человечеству волны цунами стали 5 человек. В результате катастрофы в долине Вайонт (Италия) всего за 7 минут было стерто с лица земли 5 деревень, погибло около 2000 человек.

Согласно изложенным в работе [Fine et al., 2005] результатам исследований, 18 ноября 1929 г. на южной окраине Большой Ньюфаундлендской банки гигантский подводный оползень ( $200 \text{ км}^3$ ), трансформировавшийся в мутьевой поток со скоростью порядка 60-100 км/ч, привел к повреждению 12 телеграфных кабелей, проложенных по дну океана. Сам оползень был вызван землетрясением магнитудой 7,2. Помимо указанных разрушений, сход оползня привел к формированию волны цунами, жертвами которой стало 28 человек – это самая большая катастрофа в Канадской истории, связанная с цунами. Волны цунами наблюдались в разных частях Атлантического побережья Канады и США, пересекли Атлантический океан и были отмечены на побережьях Португалии и Азорских островов. Волны цунами имели амплитуду 3-8 м, на полуострове Бурин (Ньюфаундленд) отмечена высота заплеска 13 м. Было проведено моделирование этого цунами, для этого использовалась модель мелкой воды, оползень задавался как вязкий несжимаемый текучий слой, вода – невязкая и несжимаемая. Предварительные результаты численного моделирования хорошо соотносятся с данными наблюдений по времени прихода волны цунами, несколько в меньшей степени совпадают амплитуды волн.

Катастрофические цунами на острове Флорес, Индонезия (1992), Скагуэя, Аляска (1994), Папуа Новая Гвинея (1998) и в Измит, Турция (1999) значительно повысили научный интерес к цунами, вызываемым оползнями. Теоретические исследования и лабораторное моделирование подтверждают, что полностью погруженные подводные оползни (рис. 1, а) являются менее эффективными для генерации цунами по сравнению с субэвральными оползнями (рис. 1, b, c).

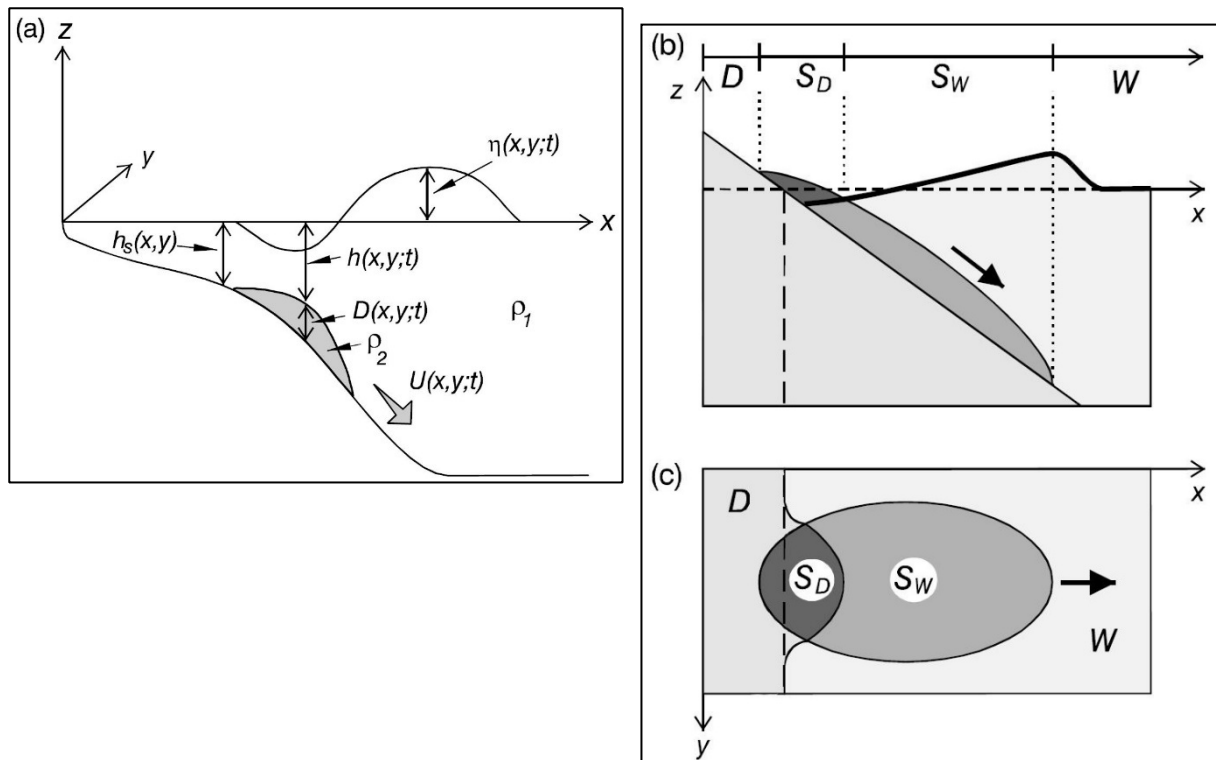


Рис. 1. Схема положения подводных (а) и субаэральных оползней (b, c) и вызываемых ими волн [Fine et al., 2003].

В работе [Fine et al., 2003] описаны несколько численных экспериментов по изучению влияния субаэральной составляющей оползней на генерацию поверхностных волн, а также проведено сравнение эффективности, с которой вызывают цунами смоделированные твердые и жидкие вязкие оползни. Обнаружено, что высота волн цунами от твердых оползней выше, чем от текучих. Максимальная высота и энергия поверхностных волн зависят от различных параметров оползня и факторов, таких, как его объем, плотность, положение и угол склона. Для твердого оползня вызываемые им волны тем выше, чем выше его начальное положение над уровнем моря. Для текучего оползня существует некое оптимальное положение, с которым связана генерация самых высоких волн. Увеличение объема оползня, плотности и угла наклона всегда приводит к росту энергии образуемых волн. Увеличение объема подводной части субаэрального оползня при сползании его в воду – одна из причин того, что такие оползни намного эффективнее для генерации цунами по сравнению с подводными. Критическим параметром, определяющим появление поверхностных волн, является число Фруда,  $Fr$  (отношение между скольжением и скоростью волн). Наиболее эффективно возникают волны при резонансе, то есть когда число Фруда близко к 1. Для подводных оползней с плотностью  $\leq 2 \text{ г/см}^3$  число Фруда всегда меньше единицы, и достижение резонанса физически невозможно. Для частично погруженных оползней в какой-то момент времени всегда наступает резонанс. Эффект резонанса – вторая причина большей эффективности субаэральных оползней для образования цунами по сравнению с полностью погруженными.

Исследования, описанные в [Rabinovich et al., 1999, Kulikov et al., 1996], проводились для подробного изучения события схода подводного оползня и вызванного им цунами в порту

Скагуэй, Аляска в ноябре 1994 г. Сбор геоморфологических данных и изучение записи мареографа в сочетании с численным моделированием позволили воссоздать полную картину произошедшего. Сход оползня спровоцировало обрушение строящейся пристани в вершине залива Тайя. Для расчетов были использованы модель с сеткой хорошего разрешения для порта Скагуэй и модель с сеткой грубого разрешения для залива Тайя. С помощью моделирования удалось объяснить многие свидетельства очевидцев, кроме того были воспроизведены преобладающие колебания на записи мареографа, включающие продолжительные (около 1 часа) 3-минутные колебания в бухте.

### **Список литературы**

1. *Fine I. V., A. B. Rabinovich, R. E. Thomson, E. A. Kulikov.* (2003). Numerical modeling of tsunami generation by submarine and subaerial landslides //Submarine landslides and tsunamis. Springer Netherlands, 69-88 pp.
2. *Fine I.V., Rabinovich A.B., Thomson R.E., Bornhold B.D., Kulikov E.A.* (2005). The Grand Banks landslide-generated tsunami of November 18, 1929, preliminary analysis and numerical study. *Marine Geology*, V. 215, P.45- 57
3. *Gusiakov V.K.* WinITDB (Integrated Tsunami Database for the World Ocean), Version 5.16 of December 31, 2010. CD-ROM. Novosibirsk, Tsunami Laboratory, ICMMG SD RAS, Russia. 2010.
4. *Kulikov, E. A., Rabinovich, A. B., Thomson, R. E., & Bornhold, B. D.* (1996). The landslide tsunami of November 3, 1994, Skagway harbor, Alaska. *J. Geophys. Res.*, 101, 6609-6615.
5. *Rabinovich, A.B., Thomson, R. E., Kulikov, E. A., et al.* (1999). The landslide-generated tsunami November 3, 1994, in Skagway. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3009– 3012.

**Гидрологическая и гидрохимическая структура вод Геленджикской и Голубой бухт.**  
**Волкова Валентина Валерьевна, Вылегжанина Наталья Евгеньевна, Заговенкова**  
**Анастасия Дмитриевна, Ильинская Алиса Алексеевна**  
*МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии*

В июне-июле 2016 года студентами кафедры океанологии географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова проводились комплексные измерения в Геленджикской и Голубой бухтах. Целью данного исследования было проанализировать взаимосвязь между различными гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими показателями.

В ходе гидрологической съёмки Геленджикской бухты были выведены следующие особенности:

- Явление прибрежного апвеллинга в период преобладания ветра северных и северо-западных румбов;
- Распространение загрязненных сточных вод, проявляющееся в распределении температуры в подповерхностном горизонте и на горизонте 5 метров.

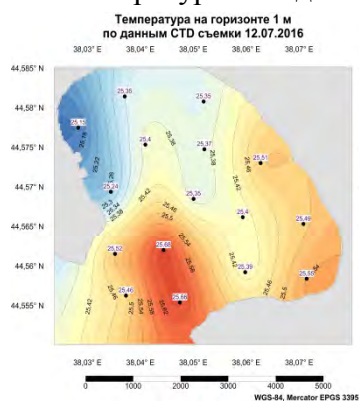


Рис. 1 Температура воды в Геленджикской бухте на горизонте 1 м по данным STD съёмки 12.07.2016.

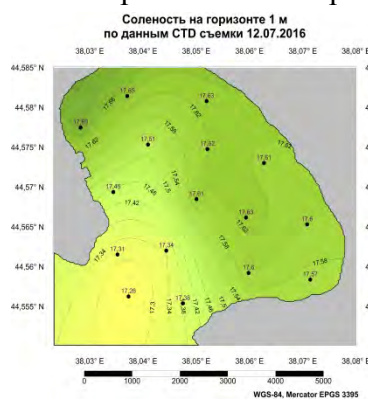


Рис. 2 Соленость воды в Геленджикской бухте на горизонте 1 м по данным STD съёмки 12.07.2016.

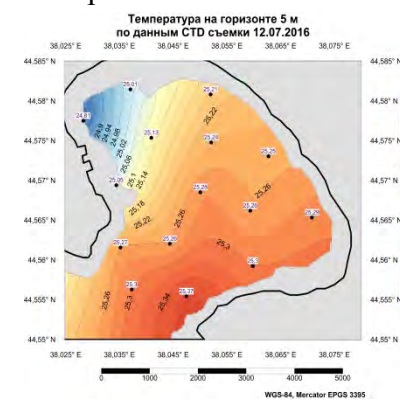


Рис. 3 Температура воды в Геленджикской бухте на горизонте 5 м по данным STD съёмки 12.07.2016.

Гидрологическая съёмка Голубой бухты позволила выявить:

- Опресняющее и охлаждающее действие реки Ашамба в период ливневых осадков;
- Явление прибрежного апвеллинга;
- Хорошее волновое перемешивании вод до горизонта 5 м.

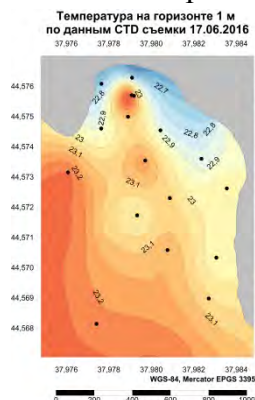


Рис. 4 Температура воды в Голубой бухте на горизонте 1 м по данным STD съёмки 12.07.2016.

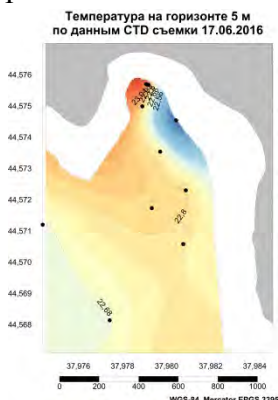


Рис. 5 Температура воды в Голубой бухте на горизонте 5 м по данным STD съёмки 12.07.2016.

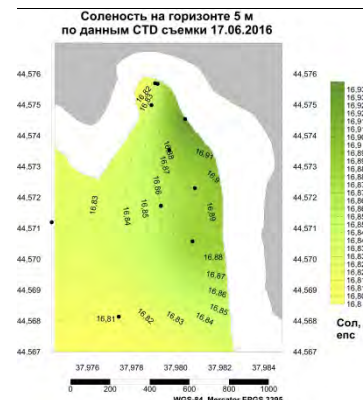


Рис. 6 Соленость воды в Голубой бухте на горизонте 5 м по данным STD съёмки 12.07.2016.



В Голубой бухте были отобраны 16 поверхностных и 8 придонных проб на растворенный кислород, биогенные элементы (фосфор и кремний), а также pH. В процессе анализа были сделаны следующие выводы:

1. Максимумы растворенного кислорода могут быть отнесены к районам повышенной фотосинтетической активности, а также к областям пониженной температуры, минимумы – к районам, подверженным загрязнению или взмучиванию, или областям с малой биопродуктивностью.

2. Биогенные элементы являются биоиндикаторами. Максимумы распределения фосфора и кремния свидетельствуют о положительной биопродуктивности, а минимумы – об отрицательной, что в том числе может быть вызвано и загрязнениями. Также высокие концентрации силикатов в морской воде указывают на зоны влияния материкового стока.

3. Показатель кислотности лишь подтверждает наши гипотезы о загрязнении на северо-востоке акватории, причем в придонных водах, а также индицирует интенсивность фотосинтеза и смещения карбонатного баланса в акватории.

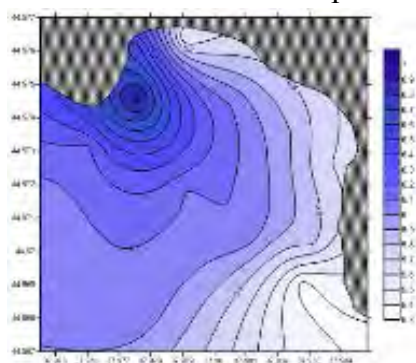


Рис. 7 Распределение растворенного кислорода в Голубой бухте в поверхностном горизонте (мг/л)

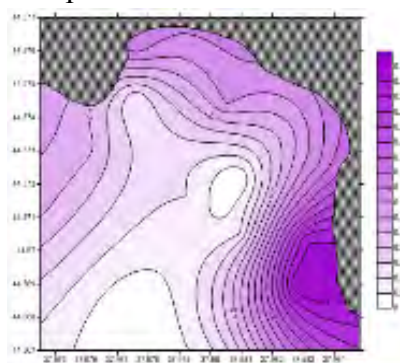


Рис. 8 Распределение силикатов в Голубой бухте в поверхностном горизонте(мкмоль/л)

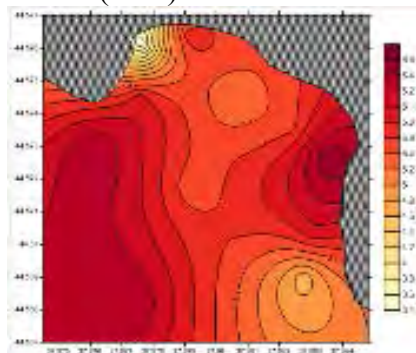


Рис. 9 Распределение фосфатов в Голубой бухте в поверхностном горизонте(мкмоль/л).

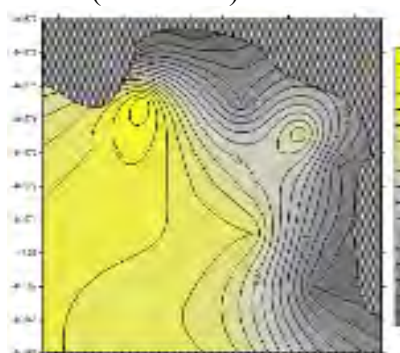


Рис. 10 Распределение pH в Голубой бухте в поверхностном горизонте.

Также была выполнена гидрохимическая съемка Геленджикской бухты, в ходе которой было отобрано 16 поверхностных проб на растворенный кислород, биогенные элементы (фосфор и кремний), pH. В процессе анализа были сделаны следующие выводы:

1. Пониженная биопродуктивность наблюдается западной части бухты, о чем свидетельствует область пересыщения кислородом. Область недосыщения кислородом указывает на загрязнение воды на востоке бухты, перенесенное внутренней циркуляцией на запад и в центральную часть. Область недосыщения на юге обусловлена повышенной соленостью, которая снижает растворимость газов.

2. На картах видно, что распределение растворенных фосфатов и силикатов слабо коррелируют. Прослеживается четкая связь между картами температуры и силикатов, и между их распределением есть обратная пропорциональная зависимость. Градиент концентраций фосфатов достаточно невелик, локальные минимумы обусловлены повышенной биопродуктивностью, а локальный максимум в центральной части говорит о последствиях усиленного сброса сточных вод в восточной части бухты.

3. Показатель кислотности распределен неравномерно. Первый минимум расположен в горле бухты и связан с пониженной температурой воды в данной области. Второй минимум совпадает с локальным минимумом солености. Оба минимума сводятся к смещению карбонатного равновесия. Локальный максимум в северо-западной части бухты связан с поступлением воды из реки Су-Уран, причиной которой является повышенный рН пресных речных вод по сравнению с морскими. Крупная область повышенного рН в районе Центрального пляжа, по-видимому, может быть объяснена притоком отдыхающих и усилением загрязнения сточных вод.

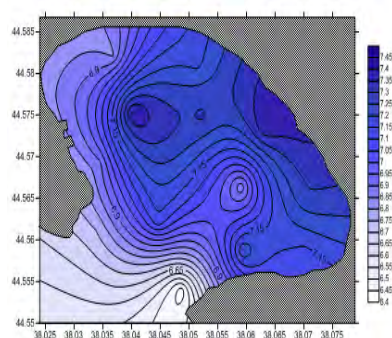


Рис. 11 Распределение растворенного кислорода в Геленджикской бухте в поверхностном горизонте (мг/л).

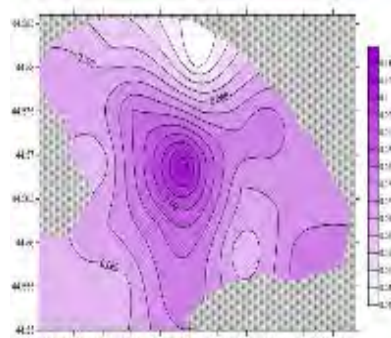


Рис. 12 Распределение силикатов в Геленджикской бухте в поверхностном горизонте(мкмоль/л).

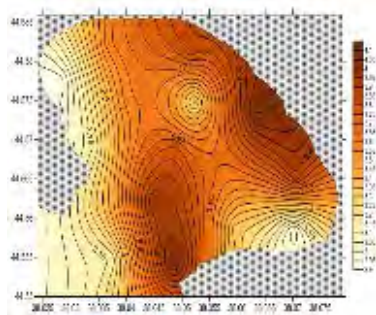


Рис. 13 Распределение фосфатов в Геленджикской бухте в поверхностном горизонте(мкмоль/л).

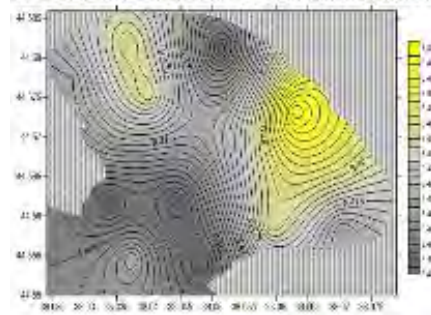


Рис. 14 Распределение рН в Геленджикской бухте в поверхностном горизонте.

Анализ проб фитопланктона показал, что максимумы распространения биомассы фитопланктона наблюдаются в западной, северной, центральной частях бухты, минимумы – в северо-западной (связан с распресняющим действием впадающей в море реки Су-Уран) , юго-восточной. Распространение фитопланктона схоже с распределением температуры и солености вод в Геленджикской бухты. Наиболее благоприятны для распространения фитопланктона являются теплые слабосоленые воды. Наблюдается зависимость распределения силикатов и биомассы фитопланктона. Распределение силикатов в свою очередь коррелирует с распределением температуры (содержание кремния выше в районах с повышенной температурой). Минимумы распространения растворенного кислорода

совпадают с максимумами распределения биомассы фитопланктона. Распространение нитритов также схоже с распространением биомассы фитопланктона.

Пространственное распределение биомассы фитопланктона в Геленджикской бухте

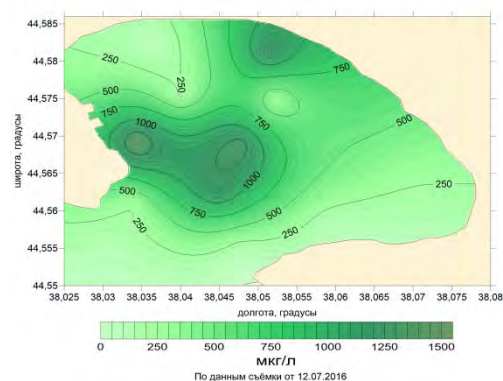


Рис. 15 Распределение биомассы фитопланктона в Геленджикской бухте.

Пространственное распределение биомассы зоопланктона в Геленджикской бухте

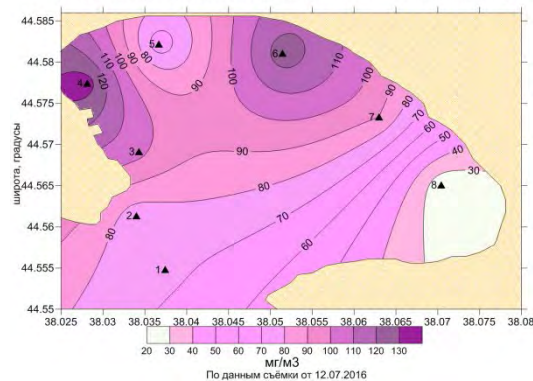


Рис. 16 Распределение биомассы мезозоопланктона в Геленджикской бухте.

Также были произведены измерения биомассы мезозоопланктона в подповерхностном слое воды (1.5 м) по 8 точкам в Геленджикской бухте.

В ходе анализа проб был отмечен ряд закономерностей:

- В летний сезон преобладают тепловодные и эвритермные (Холодноводный комплекс организмов представлен видом *Pseudocalanus elongatus*, рост численности которого отмечается в более холодных участках акватории.)
- В основном максимумы биомассы зоопланктона совпадают с максимальными значениями биомассы фитопланктона (преобладающие виды мезозоопланктона в пробах – фильтраторы-фитофаги (*Penilia avirostris*) и всеядные виды как *Oithona minuta*, *Acartia clausi*).
- Наблюдается обратная зависимость биомассы мезозоопланктона от содержания фосфатов в гидрохимических пробах.
- Абсолютный минимум биомассы отмечается на юго-востоке бухты. По данным гидрохимической съемки можно предположить, что сточные воды, перенесенные сильным северо-восточным ветром, негативно повлияли на развитие мезозоопланктона в этом участке бухты.
- Локальный минимум значений на северо-западе бухты отмечается в месте впадения реки Су-Уран, пресные воды которой также оказывают негативное влияние на биомассу мезозоопланктона в данном участке.

## **Развитие системы космического мониторинга ледового покрова для поддержки полевых работ на арктическом шельфе Российской Федерации.**

**Корпушенков Иван Александрович<sup>1</sup>, Пурунджан Нина Арсеновна<sup>2</sup>**

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова<sup>1</sup>,  
ООО «РН-Шельф-Арктика»<sup>2</sup>*

### **Введение**

В настоящее время в рамках геологоразведочных операций активно ведется освоение арктического шельфа Российской Федерации. Сложные ледовые условия в регионах ограничивают летний полевой сезон до нескольких месяцев. Для оптимизации и безопасности работ используется оперативная и прогностическая ледовая информация. В настоящее время ее основными источниками являются космические снимки, визуальные наблюдения, прогнозы погоды, аэросъемка, радарная и локационная съемка. Интеграция всех этих данных в специализированную ГИС-систему позволяет проводить все необходимые операции по слежению за ледовой и гидрометеорологической обстановкой при производстве работ в арктическом регионе.

Комплексный подход по слежению за ледовой обстановкой является современным аспектом безопасных работ, который обеспечивает управление рисками при проведении геологоразведочных исследований.

Космический мониторинг ледяного покрова Арктики является основным способом слежения за льдом. В настоящее время большое распространение получили космические снимки всепогодных радарных спутниковых систем, таких как Radarsat-2, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed, Sentinel-1A.

Обработка радарных космических снимком позволяет получать такие ледовые характеристики как:

- Границы распространения ледяного покрова;
- Возрастные характеристики льда;
- Сплоченность льда;
- Дрейф льда;
- Распространение ледовых образований (айсберги, стамухи и пр.).

### **Тестовые работы по созданию системы оперативного космического мониторинга ледовой обстановки**

Тестовые работы по созданию системы оперативного космического мониторинга за ледовой обстановкой основывается на космических снимках спутниковых систем, на которых установлены радиолокаторы с синтезированной апертурой (далее – РСА). Апертура – это условная плоская излучающая или принимающая излучение поверхность антенн. Съемка происходит по полосам обзора, ее схема представлена на рис. 1.



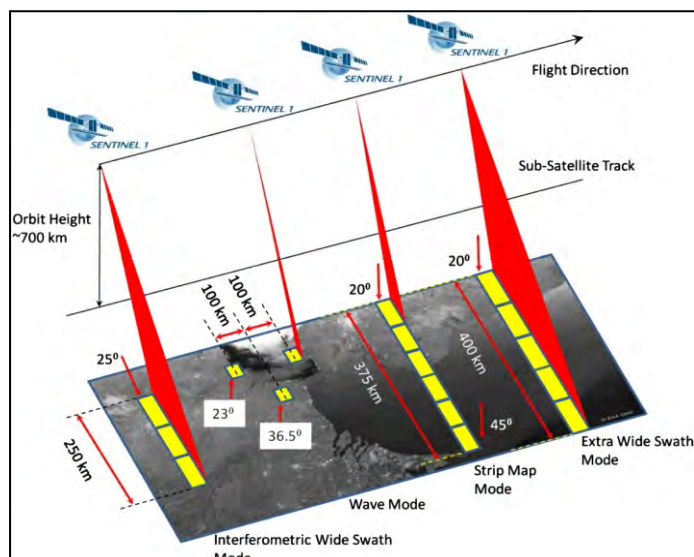


Рис. 1. Схема полос обзора (ESA).

В таблице 1 представлены ключевые преимущества и недостатки радиолокационной съемки.

Таблица 1. Преимущества и недостатки РСА-съемки.

<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
Результат не зависит от метеорологических условий и освещённости	Сложность и трудоёмкость получения и обработки данных
Очень высокое качество изображений	Калибровка натурными данными
Высокая точность	-
Возможность оперативного получения информации	-

В тестовых работах используется спутник Sentinel 1A, запущенный Европейским космическим агентством (ESA) в апреле 2014 года. Тип данных, получаемых с этого спутника – SAR-изображения в диапазоне С электромагнитных волн. Sentinel 1A имеет открытый и удобный для работы банк данных. Данные обновляются ежедневно. Для использования достаточно пройти регистрацию. Кроме того, Европейское космическое агентство осуществляет качественную техническую и документальную поддержку для пользователей банка данных, что делает эту систему крайне удобной для оперативного использования.

Основным параметром, определяемым в данной системе, является возраст морского льда. Остановимся подробно на схеме процесса определения возраста льда, которая представлена на рис. 2.

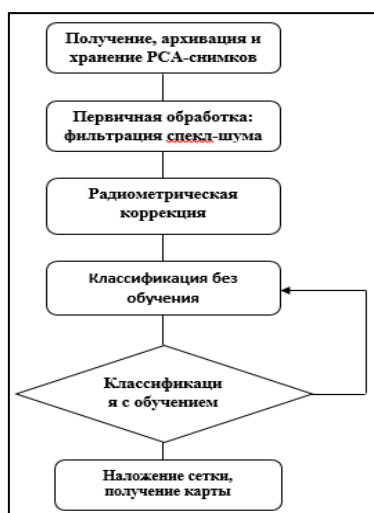


Рис. 2. Процесс определения возраста морского льда

Разработка методики дешифрирования возраста морского льда основывалась на уже существующих работах. основополагающими работами, несомненно, можно считать работы Александрова В. Ю.[1] и Захваткиной Н. Ю.[2].

Для дешифрирования возрастных характеристик льда использовалось следующее программное обеспечение: *SNAP (Sentinel-1 toolbox)*, язык программирования *Python*. В задачах классификации с обучением использовался пакет *ERDAS Imagine 2014*.

Физические принципы, лежащие в основе определения возраста морского льда – это решение *основного уравнение радиолокации*. В этом уравнении мерой рассеяния протяжённых объектов является *удельная эффективная площадь рассеяния (УЭПР)  $\sigma_0$* , которая отнесена к единице площади поверхности и представляет собой безразмерную величину, которая чаще всего выражается в дБ ( $10 \log \sigma_0$ ).

Главная задача - преобразование поля яркости спутниковых РСА-изображений в физические характеристики УЭПР ледового покрова.

Эта задача достигается при использовании следующего алгоритма:

- Операция фильтрации спекл-шума (Speckle-noise);
- Радиометрическая калибровка;
- Получение снимка и физической характеристики УЭПР  $\sigma_0$ ;
- Классификация без обучения методом k-средних (k-means);
- Классификации с обучением в программе ERDAS Imagine, с помощью метода опорных векторов;
- Компоновка и финальная подготовка карты с определенным возрастом ледового покрова.

### **Результаты тестирования системы оперативного космического мониторинга ледовой обстановки**

Результаты тестирования системы – это готовые карты с определенными возрастными типами морского льда. Тестовая карта представлена на рис. 3. На ней определены следующие характеристики:

- 1) Темно серый цвет – чистая от сплоченных льдов вода;
- 2) Серый цвет – однолетний лёд сплоченностью 1-7 баллов;
- 3) Белым цветом выделен однолетний лёд, сплоченностью 8-10 баллов.



Снимок сделан на участок Карского моря 04.06.2016 года. По данным Обзорных карт состояния ледяного покрова Северного Ледовитого Океана ААНИИ на этот участок тестовая карта в целом точно отражает актуальную ледовую ситуацию.

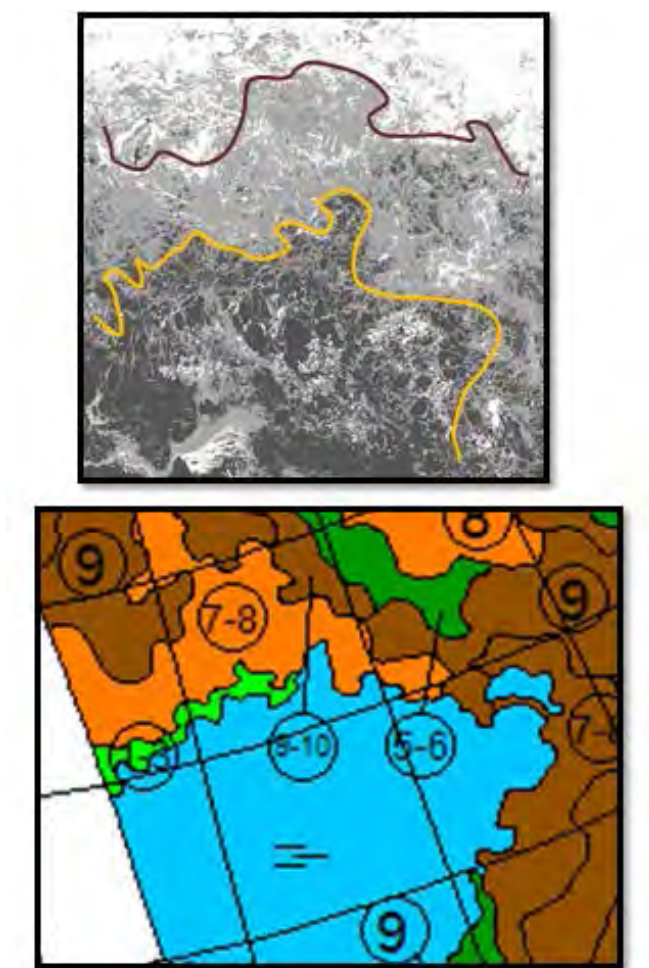


Рис. 3. Тестовая карта распределения льдов различных возрастных характеристик на 04.06.2016 г. Карское море и карта ААНИИ от 07.06.2016 г. ( — граница между сплоченными льдами 8-10 баллов и 1-7 баллов; — граница между сплоченными льдами 1-7 баллов и чистой водой).

### **Заключение**

Испытания системы космического мониторинга ледового покрова для поддержки полевых работ на арктическом шельфе в тестовом режиме показали хорошие результаты, позволяющие продолжить работу по внедрению и модернизации системы для дальнейшего ее использования при реализации геологоразведочных работ на арктическом шельфе. Данный прототип будет модернизирован внедрением программного пакета *NanSat*, созданного в фонде «Нансен-Центр», что позволит автоматизировать и усовершенствовать ряд функций процесса для оперативного слежения за характеристиками ледового покрова.

### **Список литературы**

1. Александров, В. Ю. Спутниковый радиолокационный мониторинг морского ледяного

покрова [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. док. физ.-мат. наук (25.00.28) / Александров Виталий Юрьевич; Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена». – Санкт-Петербург, 2010. – 349 с.

2. Захваткина, Н. Ю. Идентификация морских льдов Северного Ледовитого океана по данным радиолокатора с синтезированной апертурой [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук (25.00.28) / Захваткина Наталья Юрьевна, Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена». – Санкт-Петербург, 2009. – 168 с.

## **Исследование низкочастотной изменчивости ледовитости и термохалинных характеристик Баренцева моря и ее причин.**

**Крашенинникова Марина Анатольевна, Крашенинникова Светлана Борисовна**

*Институт природно-технических систем, г. Севастополь.*

### **Введение**

Исследование низкочастотной изменчивости ледовитости и термохалинных характеристик Баренцева моря имеет важное научное и прикладное значение [1–3]. Проведенные ранее исследования [4–6] на основе модельных расчетов свидетельствуют о возможном будущем потеплении климата в Арктическом регионе, хотя в работе [7] отмечено, что не одна из моделей современного поколения не дает точной картины климатических изменений в Арктике. Современные массивы данных контактных и спутниковых наблюдений позволяют дать более точные оценки низкочастотной изменчивости ледовитости и термохалинных характеристик Баренцева моря и изучить причины таких изменений.

Ледово-термический режим Баренцева моря на межгодовом и междесятилетнем масштабах может определяться процессами, описанными в [8]. В настоящей работе исследовались одна из причин изменений ледовитости и термохалинных характеристик Баренцева моря – крупномасштабное атмосферное воздействие Северной Атлантики.

### **Цель работы**

Исследовать низкочастотную изменчивость ледовитости и термохалинных характеристик Баренцева моря и установить связь этих изменений с Североатлантическим колебанием (САК) и Атлантической мультидекадной осцилляцией (АМО).

### **Материалы и методы**

В настоящей работе для анализа низкочастотных колебаний температуры и солёности в 200 метровом слое Баренцева моря используются среднегодовые данные стандартного гидрологического разреза «Кольский меридиан» (по меридиану 33°30' в. д. от Кольского залива на север до 75° с. ш.) за 1951 – 2014 гг., предоставленных в свободном доступе институтом ПИНРО [9].

Данные индекса САК, брались из [10]. В работе проводился совместный анализ среднегодовых рядов солёности и температуры Баренцева моря на разрезе «Кольский меридиан» и индекса САК, а также выделенных по этим рядам полиномиальных трендов 5-го порядка с оценкой значимости полученных результатов.

Низкочастотная изменчивость ледовитости Баренцева моря за 1900 – 2014 гг., под которой понимают отношение площади покрытой льдом ко всей площади моря [3], анализировалась по данным [1–3]. Путем анализа выделенных полиномиальных трендов исследовалась междесятилетняя изменчивость ледовитости Баренцева моря и ее связь с изменчивостью индекса САК и АМО. Также проводился анализ линейных трендов этих характеристик с оценкой значимости полученных результатов.

### **Результаты**

Нами было получено, что в 50-е – 80-е гг. температура и солёность в районе Мурманского течения Баренцева моря уменьшалась, а, начиная с 90-гг. по настоящее время -

увеличивалась [8].

Сравнение полиномиальных трендов термохалинных характеристик Баренцева моря и индекса САК на междесятилетнем масштабе показывает, что они изменяются в противофазе. В период интенсификации САК (60-е – 90-е гг. XX в.) происходит усиление зональной атмосферной циркуляции, сопровождающееся уменьшением поступления теплых вод из Северной Атлантики в Арктику и как следствие – понижению температуры и солености в Баренцевом море. Поэтому, в этот период наблюдалось увеличение ледовитости Баренцева моря. В период ослабления САК (90-е гг. XX в. по настоящее время) происходит поступление теплых воздушных масс и теплых высокосолёных вод на территорию Арктического бассейна. Это приводит к повышению температуры и солёности вод в Баренцевом море и уменьшению его ледовитости. Это согласуется с результатами работ, основанных на спутниковых данных, указывающих на уменьшение толщины льда в Арктике и сокращение площади многолетнего льда в последние десятилетия [11]. Результаты настоящей работы, а также [12] свидетельствуют о близком завершении теплой фазы климатических колебаний и возвращении функционирования экосистемы Баренцева моря к среднему многолетнему состоянию. Дальнейшие изменения климатической системы также будут носить циклический характер с характерным периодом ~60 лет.

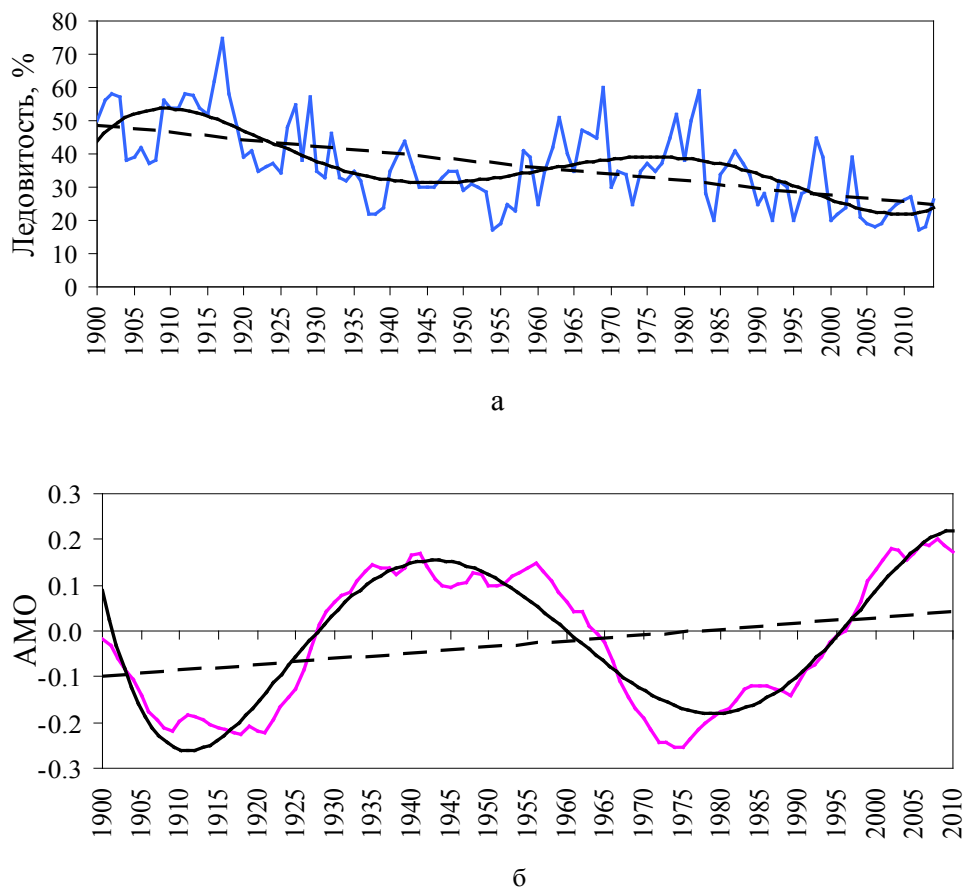


Рис. 1. Межгодовая изменчивость ледовитости Баренцева моря (а) и АМО (б).  
Сплошная линия – полином 5-го порядка, пунктирная линия – линейный тренд.

На рис. 1 видно, что ледовитость имеет характерный период изменчивости, соответствующий АМО ~60 лет. При этом их характеристики изменяются в противофазе. В 60-е – 90-е гг. XX в. АМО уменьшалась, ледовитость – увеличивалась. В 10-е – 50-е гг. и 90-е

гг. по настоящее время обнаруживается противоположная тенденция. Анализ значимых линейных трендов (достоверность аппроксимации  $R^2 = 0,4$ ) многолетних рядов ледовитости и индекса АМО за 1900 – 2014 гг. подтверждает, что с ростом АМО и, соответственно, увеличением поверхностной температуры Северной Атлантики, ледовитость в Баренцевом море уменьшалась. Отрицательную тенденцию ледовитости Баренцева моря также подтверждают результаты, полученные с помощью современных глобальных климатических моделей в рамках проекта *CMIP5*.

### **Выводы**

Проанализирована низкочастотная изменчивость ледовитости за 1900–2014 гг. и термохалинных характеристик за 1951 – 2014 гг. Баренцева моря и установлена их связь с изменениями САК и АМО. Выявлено, что температура, соленость и ледовитость Баренцева моря изменяются с типичным периодом ~60 лет [8], что соответствует периоду АМО, или мультидекадной моде САК. В 50-е – 80-е гг. XX в. температура и соленость в районе Мурманского течения Баренцева моря уменьшались, начиная с 90-х гг. XX в., наблюдался их рост. Получено, что ледовитость Баренцева моря и АМО на десятилетнем масштабе изменяются в противофазе. Причем, за период с 1900–2014 гг. выявлена значимая долговременная положительная тенденция индекса АМО и отрицательная тенденция ледовитости Баренцева моря.

### **Список литературы**

1. Воробьев В.Н., Косенко А.В., Смирнов Н.П. Многолетняя динамика ледового покрова морей западного сектора Арктики и ее связь с циркуляцией атмосферы и океана в Североатлантическом регионе // Изв. РГО, – 2010. – Т.142, Вып. 6. – С. 52–59.
2. Жичкин А.П. Динамика межгодовых и сезонных аномалий ледовитости Баренцева и Карского морей // Вестник Кольского научного центра РАН – 2015 (20), №1. – С. 55 – 64.
3. Матишов Г.Г., Дженюк С.Л. Арктика Морская хозяйственная деятельность в российской Арктике в условиях современных климатических изменений// Экология и экономика – 2012. – №1 (5) – С. 26–37.
4. Overland J. E., Wang M., Salo S. The recent Arctic warm period // Tellus, – 2008. – 60. – P. 1–9.
5. Stroeve J.C., Kattsov V., Barrett A., et. al. Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations // Geophys. Res. Lett., – 2012. – V.39, L16502, doi:10.1029/2012GL052676.
6. Zhang, X., A. Sorteberg, J. Zhang R., et. al. Recent radical shifts of atmospheric circulation and rapid changes in Arctic climate system // Geophys. Res. Lett., – 2008. – V. 35, L22701, doi:10.1029/2008GL035607.
7. Алексеев Г.В., Пнюшков В., Иванов Н.Е., и др. Комплексная оценка климатических изменений в морской Арктике с использованием данных МПГ 2007/08 // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2009. – №1 (81). – С. 7–14.
8. Крашенинникова С. Б., Крашенинникова М. А. Низкочастотная изменчивость ледовитости и термохалинных характеристик Баренцева моря и ее связь с североатлантическим колебанием и атлантической мультидекадной осцилляцией // Евразийский Союз Ученых (Географические науки) – 2016. – №25, Ч.5. – С.97–100.
9. ПИНРО <http://www.pinro.ru>

10. *Hurrell J. W.* Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation // *Science*. – 1995. – V. 269, № 5224. – P. 676–679.
11. *Kwok R., Cunningham G.F., Wensnahan M.*, et. al. Thinning and volume loss of Arctic sea ice: 2003–2008 // *J. of Geophys. Res.*, – 2009. – V.114: C07005. doi:[10.1029/2009JC005312](https://doi.org/10.1029/2009JC005312).
12. *Матишов Г. Г., Дженюк С. Л., Денисов В. В.* и др. Учет вековой динамики климата Баренцева моря при планировании морской деятельности // *Труды Кольского научного центра РАН*. – 2013. – № 1(14). – С. 50–66.



## Численное моделирование ветрового волнения в Балтийском море.

Медведева Алиса Юрьевна, Мысленков Станислав Александрович,

Архипкин Виктор Семенович

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

<sup>2</sup> *Институт океанологии имени П.П. Шишова РАН, Москва*

### Введение

Шторма на Балтийском море в осенне-зимний период – явление частое, происходящее ежегодно. Однако отсутствие инструментальных измерений затрудняет оценку волнения, которая выполняется в основном визуально или по расчету по скорости ветра. Численное моделирование ветрового волнения позволяет обеспечить нехватку данных практически для любого региона с необходимым пространственным разрешением и за интересующий период времени. В настоящей работе рассмотрены результаты численного моделирования полей ветрового волнения Балтийского моря с помощью спектральной волновой модели SWAN. Расчеты производились на нерегулярной и прямоугольной вычислительных сетках высокого пространственного разрешения. В качестве вынуждающей силы задавался приземный ветер из реанализов NCEP/CFSR и NCEP/NCAR. Сравнение результатов расчетов с данными о высотах ветровых волн с заякоренных буев показало, что использование реанализа нового поколения NCEP/CFSR существенно улучшает качество воспроизводимых полей ветрового волнения по сравнению с результатами, полученными с использованием реанализа NCEP/NCAR. Поля ветрового волнения одинаково хорошо воспроизводятся как на нерегулярной (триангуляционной), так и на прямоугольной вычислительных сетках. Для оценки точности модели также было проведено сравнение с данными акустического волнографа, установленного на нефтяной платформе Д-6 вблизи юго-восточного побережья Балтийского моря.

### Данные и методы

Для изучения особенностей пространственно-временной изменчивости полей ветрового волнения была использована спектрально-волновая модель SWAN (Simulating WAVes Nearshore) версии 41.01. Основными отличиями этой волновой модели от других является то, что она учитывает нелинейные взаимодействия трех волн, характерные для закрытых и мелководных акваторий, а также эффекты обрушения и дифракции волн на малых глубинах.

Эта спектральная волновая модель была разработана в Делфтском технологическом университете в Нидерландах [Booij et al., 1999] пространстве:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma},$$

где  $N$  – удельная спектральная плотность;  $x, y$  – пространственные координаты;  $t$  – время;  $\sigma$  – волновая частота;  $\theta$  – волновой угол;  $c_\sigma, c_\theta$  – скорости распространения в спектральном пространстве ( $\sigma, \theta$ );  $S_{tot}$  – функция источника.

На первом этапе работы в качестве вынуждающей силы в модели задавались поля приземного ветра по данным реанализа NCEP/NCAR с 1948 по 2010 гг. Пространственное разрешение полей приземного ветра в этом реанализе составляет  $\sim 1.875^\circ$ , временное – 6 ч.

На втором этапе исследования использование другого реанализа последнего поколения NCEP/CFSR (1979–2010) качественно улучшило воспроизводимые поля ветрового волнения. Временной шаг реанализа составляет 1 ч, пространственное разрешение  $\sim 0.3125^\circ \times 0.3125^\circ$ . Для численного моделирования ветрового волнения в 2015 году использовалась следующая версия этого реанализа – NCEP/CFSv2 (Climate Forecast System Version 2), покрывающая временной период с 2011 г. по н.в. и имеющая более высокое пространственное разрешение  $\sim 0.205 \times 0.204^\circ$  и временное разрешение – 1 час.

Для оценки качества результатов моделирования было произведено сравнение и подсчитаны статистические характеристики (подробнее формулы Медведева и др., 2015) с

данными измерений с заякоренных буев Шведского метеорологического института и волнографа. Расположение шведских буев показано на рис. 1. Дискретность наблюдений составляла 1 час. Для периода с 16.09.2015 по 14.10.2015 были использованы данные ультразвукового волнографа LOG\_aLevel фирмы «General Acoustics», измеряющего высоту волновой поверхности с частотой 5 Гц (станция 5 на рис. 1). Он был установлен в юго-восточной части Балтийского моря на нефтяной платформе Д-6 (табл. 1). Далее была подсчитана высота значительных волн (среднее от 1/3 наибольших волн, соответствующее высоте волн 12.5%-ной обеспеченности).

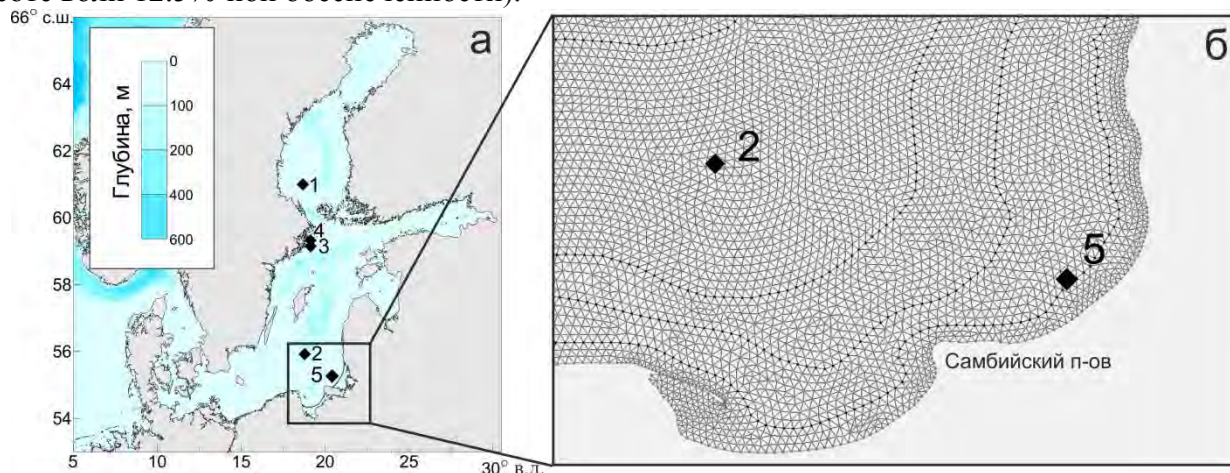


Рис 1. (а) Расположение шведских буев (1-4) и волнографа (5), (б) участок расчетной триангуляционной сетки вблизи Самбийского полуострова.

Таблица 1. Характеристика станций Шведского метеорологического института и волнографа, которые использовались для сравнения с результатами моделирования

№ буя	Название	Оригинальное название	Координаты		Глубина, м	Рассматриваемый период
			°в. д.	°с. ш.		
1	Финнgrundет	Finngundet	18.67	61.00	31	ноябрь 2010 г.
2	Содра Остерсйон	Södra Östersjön	18.78	55.92	112	ноябрь 2010 г.
3	Хувудскар Остерсйон	Huvudskär Östersjön	19.17	58.93	90.21	январь 1992 г.
4	Алмаgrundет	Almagundet	19.13	59.15	40	январь 1992 г.
5	Волнограф LOG_aLevel		20.67	55.28	31	с 16.09.2015 по 14.10.2015 г.

В работе было использовано два типа вычислительных сеток, созданных на основе базы данных о рельефе дна GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans): прямоугольная и триангуляционная. Пространственное разрешение прямоугольной сетки составляет  $\sim 0.05^\circ$ . Пространственное разрешение полученной неструктурной триангуляционной расчетной сетки варьировалось от 250 до 10500 м. На рис. 1 показан пример вычислительной нерегулярной триангуляционной сетки в районе нефтедобывающей платформы Д-6, расположенной вблизи Самбийского полуострова.

### Результаты. Сравнение различных реанализов и типов расчетных сеток

В рамках верификации модели было проведено сравнение полученных модельных данных с инструментальными данными шведских буев [<http://www.smhi.se/ecds>], с данными акустического волнографа, с результатами оперативных моделей и с результатами исследований других авторов [Медведева и др., 2015] (табл. 2).

Таблица 2. Статистические характеристики сравнения результатов моделирования и данных измерений

Реанализ	Шаг вычислений/ тип сетки	R	Bias	RMSE	SI	N
Финнгрундет, ноябрь 2010 (30.6 м)						
NCAR	Прямоуг./ 1 час	0.89	-0.5	0.65	0.45	240
CFRSR	Прямоуг./ 15 мин	0.95	0.08	0.34	0.23	720
	Нестр./15 мин	0.93	-0.08	0.35	0.24	
Содра Остерсейон, ноябрь 2010 (111.7 м)						
NCAR	Прямоуг./1 час	0.91	-0.73	0.89	0.49	240
CFRSR	Прямоуг./15 мин	0.97	-0.003	0.27	0.15	720
	Нестр./15 мин	0.95	-0.10	0.32	0.18	
Хувудскар Остерсейон, ноябрь 2010 (90.2 м)						
NCAR	Прямоуг./1 час	0.80	-0.37	0.74	0.46	240
CFRSR	Прямоуг./15 мин	0.97	0.08	0.26	0.17	720
Алмагрундет, январь 1992 (39.6 м)						
NCAR	Прямоуг./1 час	0.71	0.33	0.59	0.62	240
CFRSR	Прямоуг./15 мин	0.83	0.40	0.59	0.60	639
	Нестр./15 мин	0.90	0.31	0.46	0.47	
Волнограф Д-6, сентябрь-октябрь 2015						
CFRSR	Нестр./15 мин	0.69	-0.14	0.46	0.49	1005
Сравнение периодов волн, рассчитанных с использованием реанализа NCEP/CFRSR, Содра Остерсейон, ноябрь 2010						
CFRSR	Прямоуг./15 мин	0.94	0.41	0.71	0.15	718
	Нестр./15 мин	0.85	0.31	0.84	0.18	

Характеристики Bias и RMSE представляют собой среднюю систематическую и среднеквадратическую ошибки, соответственно, и отображают рассеивание разности модельных и наблюдаемых значений случайной величины относительно ее математического ожидания [см. Медведева и др., 2015]. Характеристика Bias также позволяет оценить общее завышение или занижение модельных расчетов относительно наблюдаемых.

Для всех станций, кроме Алмагрундет, результаты, полученные на регулярной сетке точнее. Вышеупомянутая станция расположена ближе всего к береговой линии в центральной части Балтийского моря, возможно, это свидетельствует о том, что неструктурную сетку для расчетов лучше применять для прибрежных районов. Для этой станции значение коэффициента корреляции составляет 0.90 для неструктурной сетки, 0.83 для прямоугольной сетки и 0.71 для результатов моделирования по NCEP/NCAR. Показатель Bias строго положительный, т.е. модель значительно завышает высоту ветровых волн у побережья, что необычно, поскольку типически SWAN занижает значительные высоты волн [Soomere et al., 2008].

В [Saremi, 2010] было показано, что использование неструктурной сетки не дает существенных преимуществ и создает значительные ошибки в периодах волн. В рамках данного исследования был проведен взаимный статистический анализ рядов наблюдений за периодом волн на станции Содра Остерсейон и результатов численного моделирования (табл. 2). Для этой станции, располагающейся в глубоководной части Балтийского моря, ошибки в периодах намного более существенны, и для неструктурной сетки они также больше по

сравнению с прямоугольной сеткой. Корреляция для нерегулярной сетки составляет 0.85, для регулярной 0.94.

Результаты численного моделирования, полученные в настоящем исследовании, также удалось сравнить с инструментальными данными акустического волнографа LOG\_aLevel, который был установлен на нефтяной платформе Д-6 вблизи Куршской косы (рис. 1, табл. 1) с 16.09.2015 по 14.10.2015 г. На рисунке видно, что при слабом волнении значительная высота волн, рассчитанная при помощи численного моделирования, ниже, чем по данным инструментальных наблюдений. В целом, численная модель достаточно хорошо воспроизвела ветровое волнение вблизи платформы Д-6 (рис. 2).

Использование в качестве вынуждающей силы данные о приземном ветре из реанализа NCEP/CFSR существенно улучшают качество воспроизводимых полей ветрового волнения и увеличивают корреляцию с рядами натуральных измерений (рис. 2).

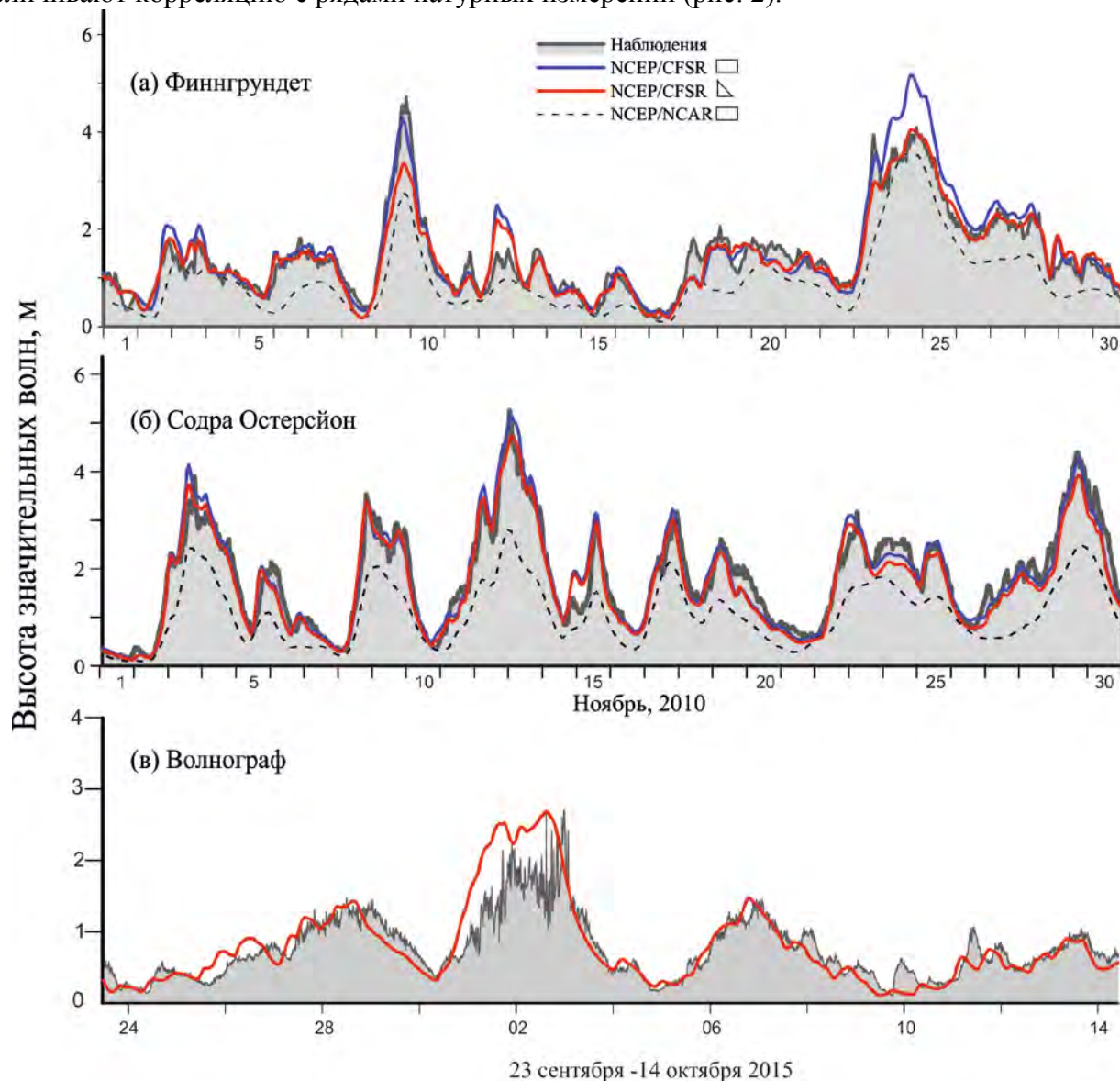


Рис 2. Высота значительных волн  $H_S$  для станций Финнgrundдет (а), Содра Остерсунд (б), Д-6, волнограф (в).

### Рост и периодичность штормовой активности

Использование длительных рядов реанализа NCEP/NCAR позволило выявить рост штормовой активности в последние десятилетия, что, вероятно, связано со смещением траекторий циклонов, проходящих над акваторией моря [Медведева и др., 2015]. В межгодовой изменчивости штормовой активности выявляется двадцатилетняя

периодичность с увеличением числа штормов в конце 1970-х и в 1990-х гг. и уменьшением в конце 1980-х, середине 2000-х. Типичные периоды интенсификации и ослабления ветрового волнения составляют для Балтики 10–12 лет [Soomere et al., 2008], это подтверждают результаты данной работы. Модель SWAN с использованием реанализа NCEP/NCAR *занижает* значения  $H_s$  [Медведева и др., 2015]. За 63 года (1948–2010 гг.) было выявлено 2943 штормовых ситуации, т.е. ~ 50 штормов в год. Случаи, когда значительная высота волн  $H_s$  (среднее значение от 1/3 наибольших высот волн) достигала 2 м, рассматривались как штормовые ситуации. По полученным результатам четко выделяется однонаправленный линейный тренд усиления штормовой активности в Балтийском море.

Среднегодовая  $H_s$  также возрастает во второй половине XX в., ее значения колеблются от 2.4 до 3.3 м, но такая четкая периодичность, как для количества штормовых ситуаций, не выявлена. При этом наблюдается межгодовое смещение области максимальных  $H_s$ .

### **Заключение**

На основании результатов расчетов можно сделать вывод, что использование неструктурной сетки снижает качество воспроизведения ветрового волнения в открытой, относительно глубоководной части Балтийского моря по сравнению с расчетами по простой прямоугольной сетке с пространственным шагом  $0.05^\circ$ . Вблизи побережья, напротив, моделирование на неструктурной сетке позволяет получить более качественные результаты. При этом модель SWAN *занижает* высоты значительных волн ( $\text{Bias} < 0$ ) в открытой части Балтийского моря и *завышает* ( $\text{Bias} > 0$ ) вблизи побережья.

Использование данных о ветре из реанализа NCEP/CFSR существенно улучшает качество прогноза: Bias уменьшается практически в 10 раз, RMSE – в 2-3 раза (табл. 2). Таким образом, в рамках исследования особенностей ветрового волнения Балтийского моря применение спектральной модели для мелководья SWAN в сочетании с реанализом NCEP/CFSR более целесообразно, чем использование NCEP/NCAR. В последние десятилетия наблюдается рост штормовой активности, связанный со смещением траекторий циклонов. Также стоит отметить, что периоды интенсификации и ослабления ветрового волнения в Балтийском море составляют 10-12 лет и имеют цикличность. Работа поддержана РФФИ (гранты № 14-05-91769 и 16-35-00338) и грантом РНФ № 14-50-00095.

### **Список литературы**

Медведева А.Ю., Архипкин В.С., Мысленков С.А., Зилитинкевич С.С. Волновой климат Балтийского моря на основе результатов, полученных с помощью спектральной модели SWAN // Вестник МГУ. Серия 5: География. – 2015. – № 1. – С. 12–22.

Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H. A third-generation wave model for coastal regions. Part 1. Model description and validation // J. Geoph. Res. – 1999. – Vol. 140, No. C4. – P. 7649–7666.

Saremi S. Development of a wave database in coastal areas around Sweden using the SWAN wave model: evaluation of the influence of grid resolutions and bathymetric data. Dis... phys.-math. Sci. Gothenburg: Chalmers University of Technology. – 2010.

Soomere T., Behrens A., Tuomi L., Nielsen J.W. Wave conditions in the Baltic Proper and in the Gulf of Finland during windstorm Gudrun // Natural Hazards & Earth System Sci. – 2008. – Vol. 8, No. 1. – P. 37–46.

<http://www.smhi.se/ecds>



**Рельеф прибрежной зоны Балтийского моря вблизи Калининградской области.**  
**Колтовская Екатерина Владимировна, Зуев Олег Александрович**  
*МГУ им. М. В. Ломоносова г. Москва, МФТИ г. Долгопрудный*

Целями экспедиции было изучить циркуляцию вод, а также особенности термохалинной структуры вод, прилегающих к Самбийскому полуострову. Динамика и направленность локальных течений и общего переноса вод находит отклик в термохалинной структуре рассматриваемой акватории и объясняет многие неоднородности в полях исследуемых характеристик.

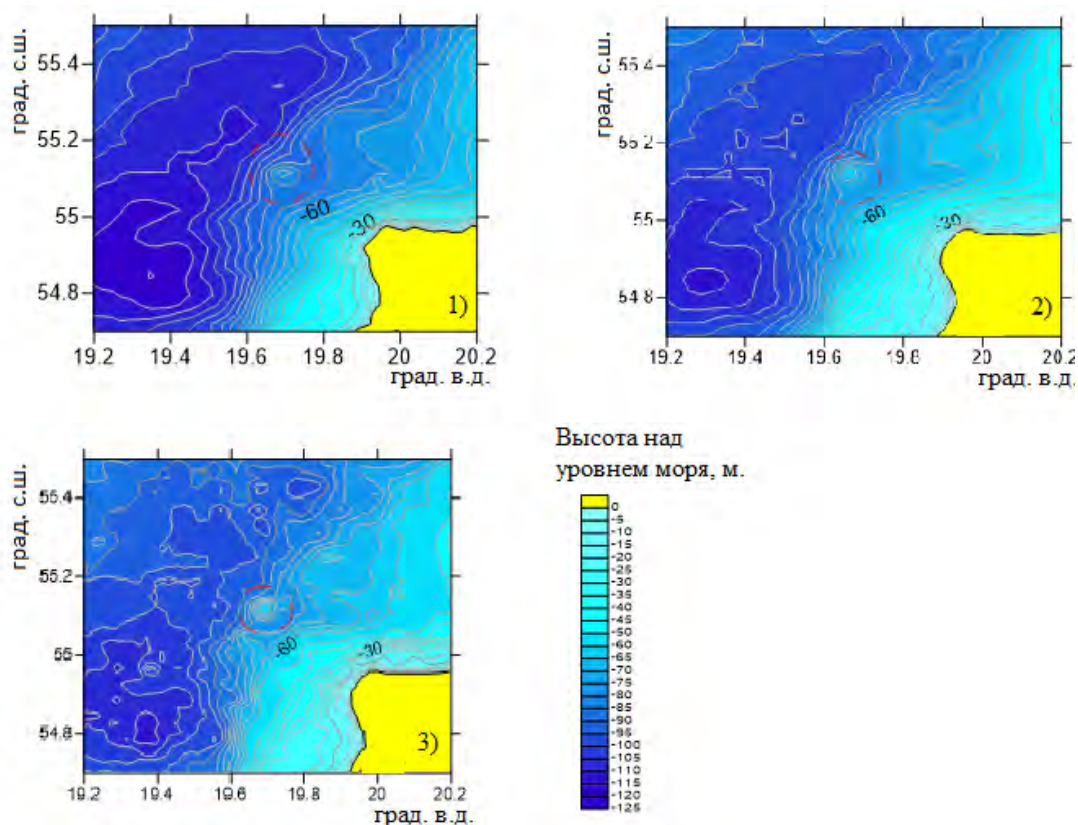


Рис. 1. Различные варианты батиметрии, полученные из трех источников:  
1.) – BSHC, 2.) - ETOPO, 3.) – Smith&Sandwell.

В ходе исследований в указанном районе было обнаружено большое количество неровностей дна различного масштаба. Ступенчатость подводного рельефа выражена здесь в виде расположенных на различных глубинах отдельных банок, возвышенностей и плато, разделенных структурными уступами (глинтом).

Наиболее крупная форма рельефа в исследованном нами районе - подводная гора, расположенная на северо-западе от мыса Таран, с вершиной на глубине 61 м, с ассиметричными склонами: западный и северный более крутой - превышение около 30 м, восточный и южный более пологий - превышение около 15 м. Ее существование подтверждают различные источники батиметрических данных (рис. 1.)

По данным литературных источников гора находится в зоне абразионной равнины, осложненной реликтами наземного аккумулятивного или эрозионного рельефа. Поверхность дна между уступами имеет преимущественно мелко-холмистый характер, обусловленный наличием реликтов ледникового рельефа. Местами имеются локальные понижения дна, заполненные рыхлыми осадками мощностью до 5-10 м., следовательно, описанный район



следует относить к моноклинной ступенчатой равнине с реликтами ледниково-аккумулятивного рельефа, одним из которых и является, по всей видимости, указанная гора. Вероятно, материал, из которого она сложена это смешанный среднезернистый песок местами с гравием, а также мелкозернистый песок вперемешку с гравием и камнями.

В августе 2016 г. погодные условия не позволили выйти в экономические воды, а потому, как наличие горы влияет на циркуляцию и термохалинную структуру (рис. 2), можно оценить только по данным экспедиции 2014 г., когда на разрезе присутствовал северный склон этого объекта.

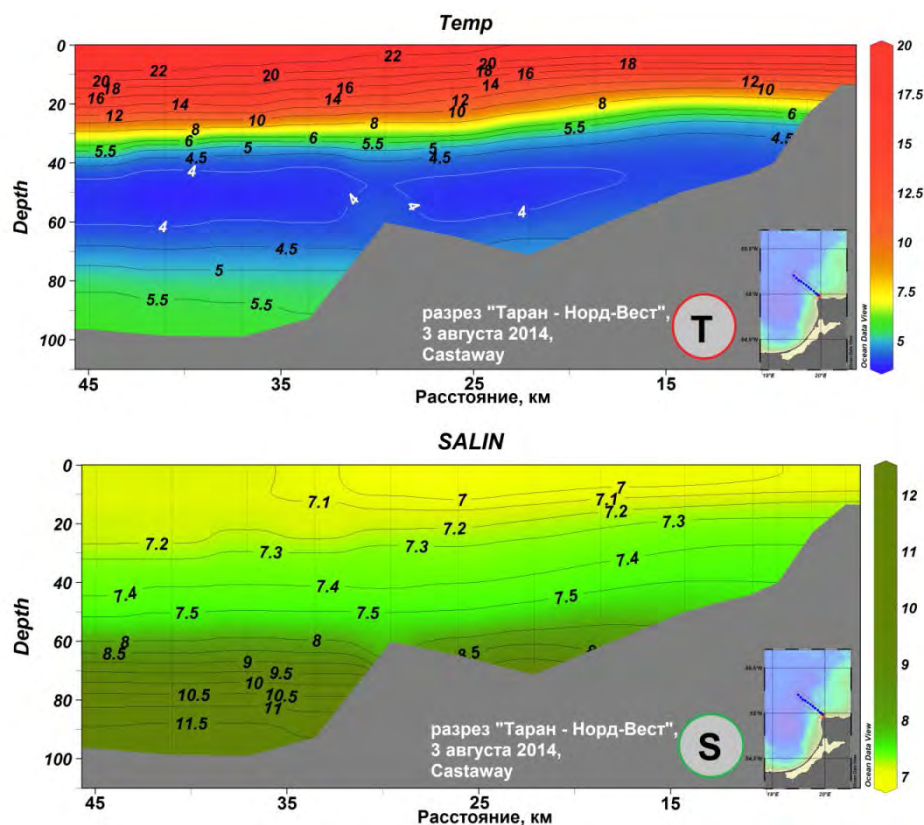


Рис. 2. Распределение температуры (Т) и солености (S) на разрезе Таран-Норд-Вест, 3 августа 2014 года.

Гора делит холодный промежуточный слой на два ядра. На южном склоне горы задерживаются более соленые и теплые воды, обязанные своим происхождением адвективным процессам переноса Североморских вод.

Карта течений (рис. 3), сделанная по данным ADCP, в промежуточном слое подтверждает предположение об изменении направления течений: гора формирует циклонический круговорот на глубине 50 м.

На рис. 4 представлен возможный маршрут для исследований будущих лет в данном регионе.

Данные о течениях и термохалинной структуре позволяют убедиться в существовании этой горы, хотя объект малого масштаба присутствует далеко не на всех батиметрических картах.

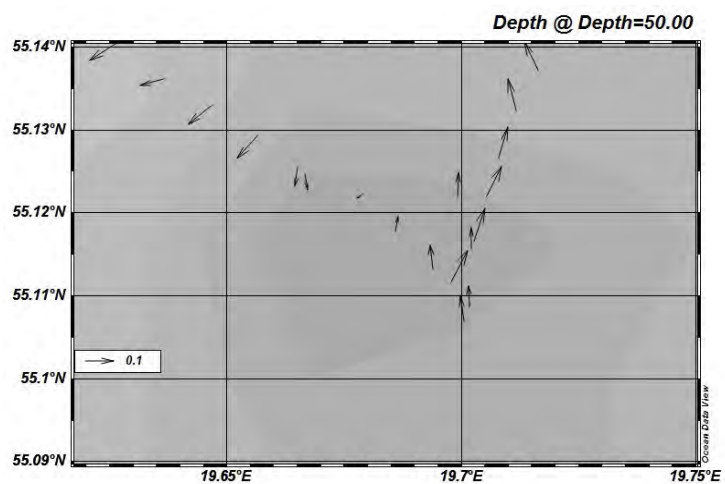


Рис.3. Карта течений в промежуточном слое (глубина 50 м).

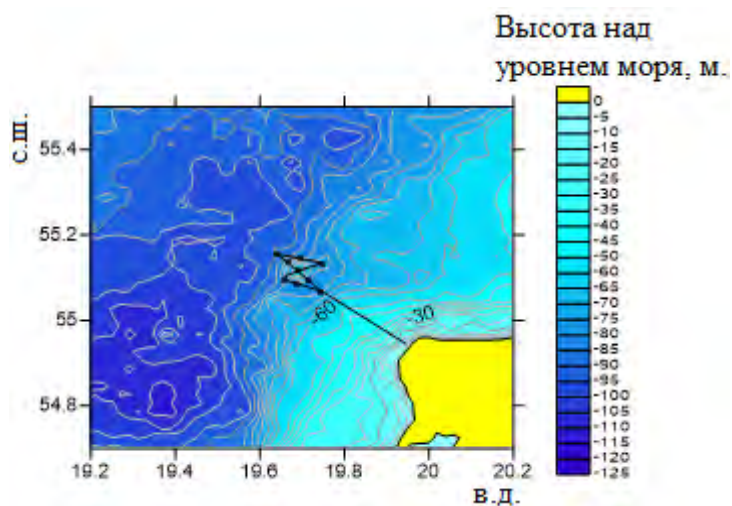


Рис.4. Карта с нанесенными линиями предполагаемого маршрута прохождения судна.

## Многолетние изменения термохалинных характеристик водных масс Балтийского моря.

Рыков Н.А.<sup>1</sup>, Лукина А.А.<sup>2</sup>, Лысенко С.В.<sup>2</sup>, Куликов М.Е.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>БФУ им. И. Канта, <sup>2</sup>МФТИ (ГУ), <sup>3</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова

### Цель исследования

Выявление основных закономерностей изменений термохалинных параметров как по всей Балтике, так и по ее отдельным регионам.

По среднемноголетним значениям температуры и солёности (по данным из атласа WOA 13) за каждое десятилетие было проанализировано изменение температуры и солёности, за период с 1955 по 2012 год (рисунок 1). Так падение солёности в с 1985 по 1994 гг. пришлось на рост температуры. Такое падение солёности вызвано повышением речного стока за этот период (Matthäus, W., and Nausch, G. 2003.).

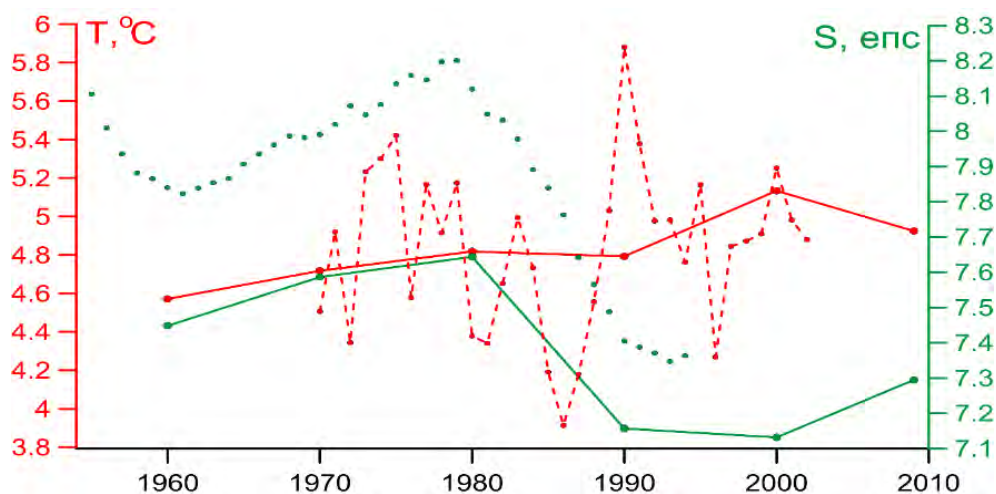


Рис. 1. Средние многолетние значения температуры и солёности с 1955 по 2012 гг. Пунктиром показаны среднегодовые значения температуры (Omsted, Nohr, 2004) и солёности, линиями- усредненные за десятилетия.

В Балтийском море выделяют две водные массы: поверхностную и донную, и иногда выделяют воды холодного промежуточного слоя (ХПС). В качестве верхней границы донной Североморской воды принималась изогалина в 9 eps. Многолетние колебания температуры и солёности для поверхностных и придонных вод Гданьской котловины приведены на рисунке 2.

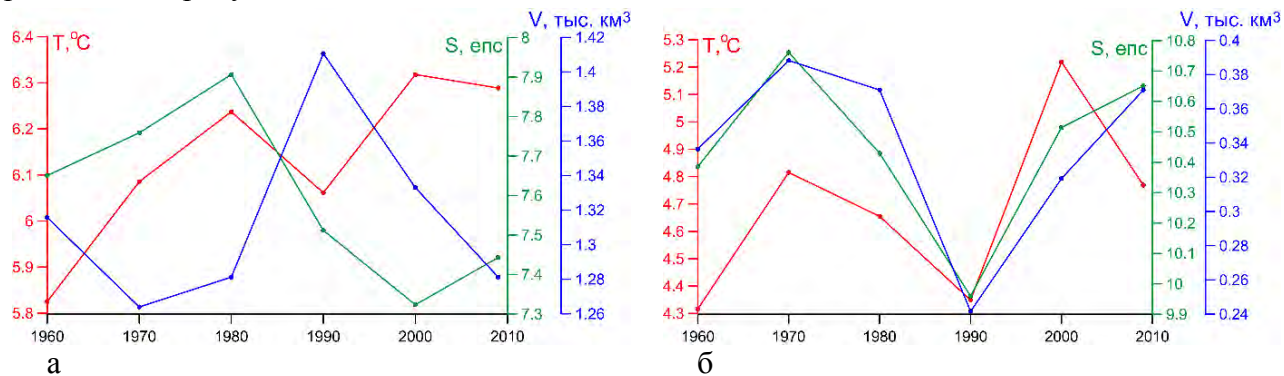


Рис. 2. Колебания температуры и солёности а) поверхностной, б) придонной водной массы в Гданьской котловине.



Подобные изменения температуры и солености наблюдается и в Слупском желобе: рост температуры и солености поверхностных вод до 1990г и разнонаправленная тенденция изменения температуры и солености после 1990г. Для придонных вод в Слупском желобе и в Гданьской котловине характерно сонаправленное изменение температуры и солености до 2000 г. и разнонаправленное после. В целом для поверхностных вод различных частей Балтийского моря характерна однонаправленная тенденция изменение температуры и солености до 1990 г. и их разнонаправленное изменение после. Немного другая ситуация с придонными водами для западной и восточной частей Балтийского моря. Так для восточной части изменения температуры и солености схожи с изменениями в Слупском желобе и Гданьской котловине.

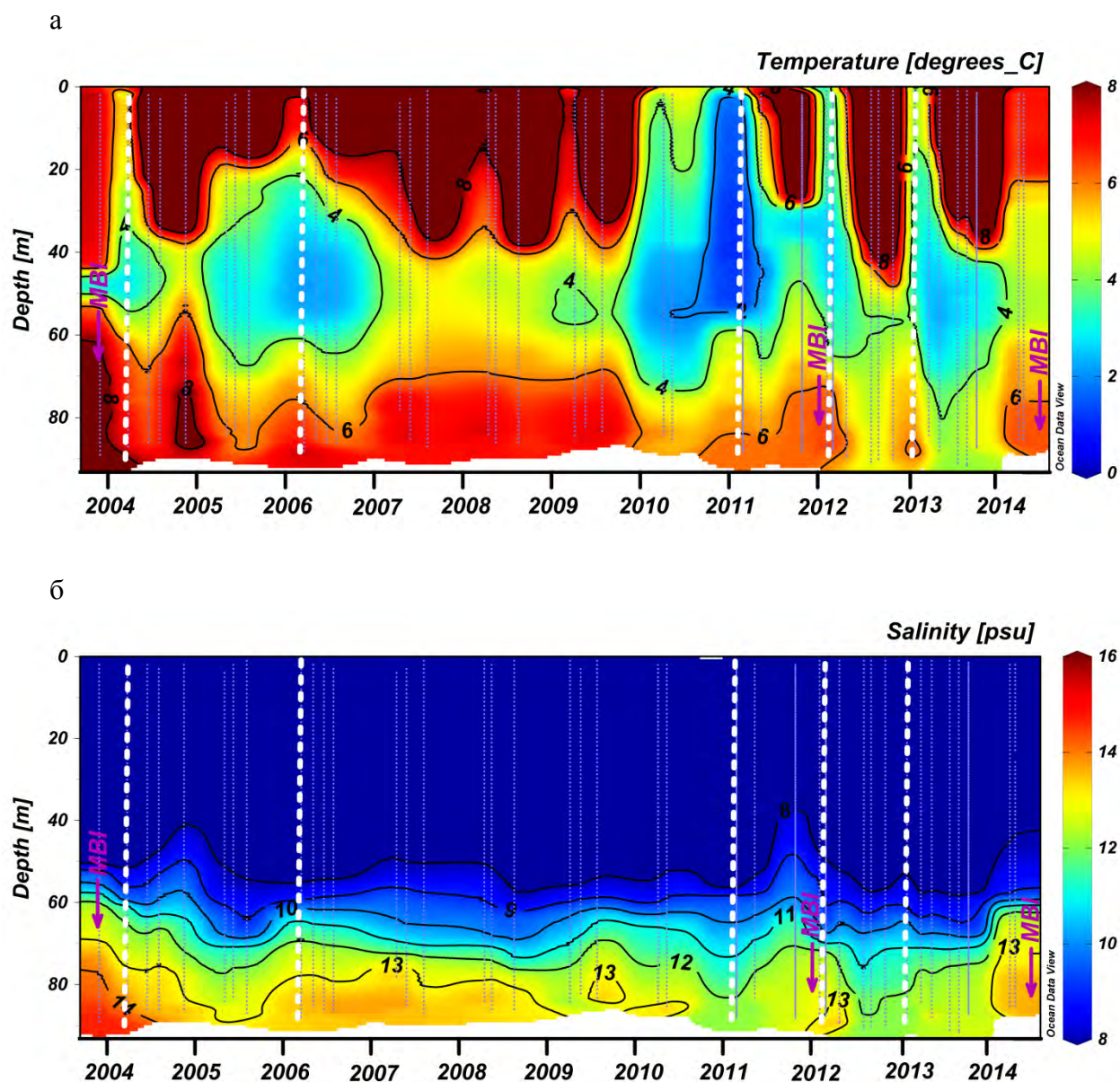


Рис. 3. Изменение температуры (а) и солености (б) в Слупском желобе с 2004 по 2014 гг. Белым пунктиром обозначены измерения в зимние месяцы, а МБИ – это измерения, проведенные во время наиболее значимых затоков Североморских вод.

Как видно на рисунке 3, ХПС в период с 2007 по 2010 гг. потеплел примерно на 2 градуса, при этом значимых изменений солености не наблюдается. Вероятно, изменение температуры связано с относительно теплыми зимами в этот период.

Так же зимой 2016 года нами проводились натурные измерения в прибрежной зоне Калининградской области, которые показали, что температура в этом регионе выше среднеклиматической почти на 2 градуса, а соленость- ниже на 0,2 епс.

Таким образом, можно сказать, что характеристики Балтийского моря подвержены значимым многолетним изменениям.

Работы выполнялись по проекту Русского географического общества и РФФИ (проект №13-05-41374 РГО\_а).

## Среднесезонные вертикальные TS-профили прибрежных вод Балтики у берегов Калининградской области.

Капустина Мария Владимировна<sup>1</sup>, Кречик Виктор Антонович<sup>2</sup>,

Гриценко Владимир Алексеевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Атлантическое отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,

г. Калининград

<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград

Известно [2,6,7], что основными режимобразующими факторами формирования термохалинной структуры вод Балтийского моря являются общая атмосферная циркуляция, материковый сток и водообмен с Северным морем. Мелководный характер прибрежных акваторий [2,6,9,12] делает значимыми температуру воздуха и параметры ветра, осадки и речной сток, экспозицию береговой линии и рельефа дна, что порождает региональную специфику свойств вод прибрежных акваторий. Целью работы является описание сезонных особенностей вертикальной термохалинной структуры прибрежных мелководных акваторий юго-восточной части Балтийского моря у берегов Калининградской области.

### Массивы данных

В основе работы - данные 1263 станций из 81 рейса за период с мая 2003 по декабрь 2014 годов. Общая схема расположения станций приведена на рисунке 1. Инструментальные измерения проводились при помощи современных CTD-зондов. Внешняя граница района исследования выбиралась по изобате 40 м, разделяющей прибрежное мелководье и воды открытого моря.

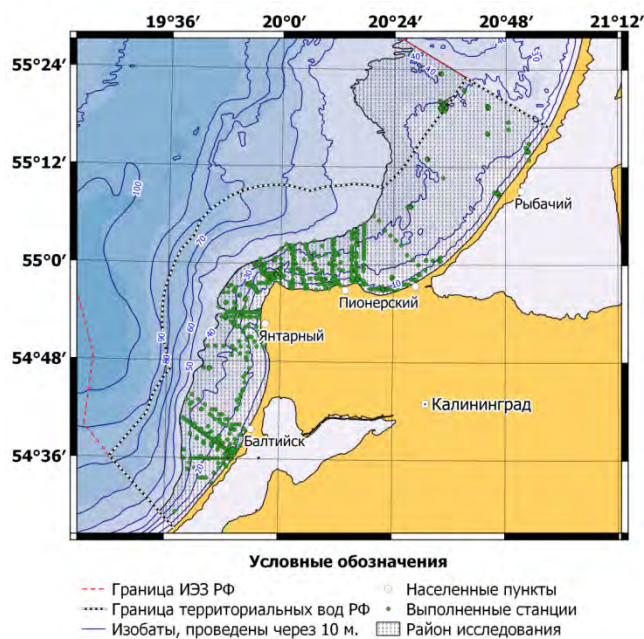


Рис. 1. Схема района исследований и расположения выполненных гидрологических станций.

На начальном этапе обработки весь массив измерений был отсортирован по сезонам года. В данной работе сезоны не совпадают с климатическими и имеют хронологический сдвиг на один месяц в большую сторону [6,7,9]. Для перехода от исходных к среднесезонным



профилям часто используемое среднеарифметическое значение было заменено на медианное [1,5,8]. Суть реализованного подхода заключается в вычислении медианного значения сезонного множества измерений температуры и солёности для каждого сезона и однометрового слоя воды.

### Вертикальные TS-профили

Далее приведено описание вертикальной структуры полей температуры и солёности прибрежных мелководных акваторий юго-восточной части Балтийского моря у берегов Калининградской области для каждого из сезонов (рис. 2).

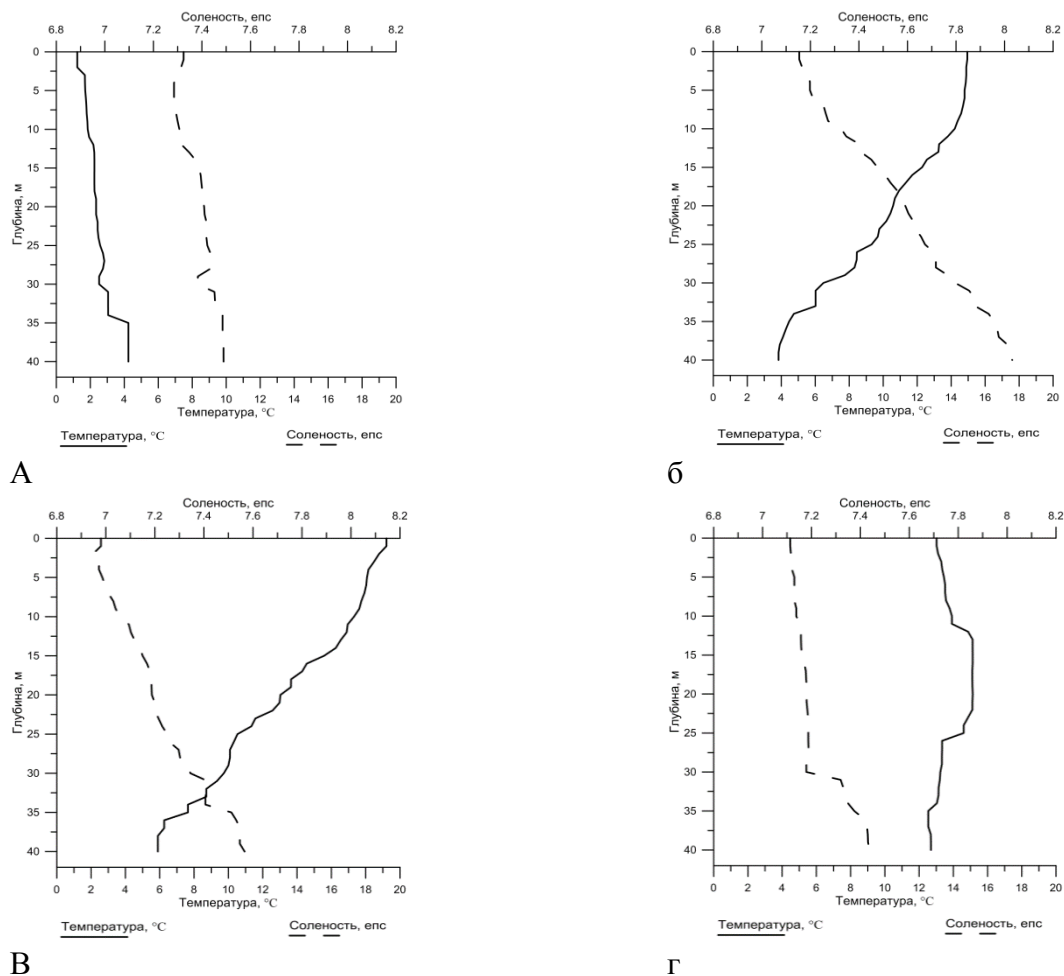


Рис. 2. Вертикальные среднесезонные профили температуры и солёности вод Балтийских мелководных акваторий у берегов Калининградской области (толстые непрерывная и штриховая линии) в зимний (а), весенний (б), летний (в) и осенний (г) периоды.

**Зимой** температура воды растёт с глубиной - повышаясь от 1.5°C на поверхности моря 9 до 4.2°C у дна, градиент равен 0.067°C/м. На глубине ~30 м наблюдается скачок температуры (примерно в 1.0°C), вызванный появлением более холодной воды (около 2.5°C), близкой к температуре максимальной плотности, и, одновременно, пониженным значением солёности.

Солёность воды на поверхности в зимний период несколько выше (более 7.3 епс), чем на глубине около 5 м (чуть менее 7.3 епс). Градиент солёности очень мал – 0.0054 епс/м. По-

видимому, данная особенность связана с уменьшением речного стока в зимний период и льдообразованием в приурезовой зоне. На глубине около 12-14 м наблюдается слой, соленость в котором растет, градиент составляет 0.03 епс/м. У дна соленость воды составляет около 7.5 епс. Зарегистрированный в измерениях диапазон изменчивости поля солености вполне соответствует общей картине эволюции поля солености для вод открытой Балтики. Изменения солености прибрежных вод малы, а типичное значение колеблется около величины в 7.3 епс.

♦ Вертикальные градиенты температуры и солености зимой малы. Изменчивость свойств прибрежных вод по вертикали наблюдается, в основном, в поле температуры и определяется процессами выхолаживания с поверхности и присклоновой конвекции (рисунок 2 а).

**Весенний** прогрев прибрежных вод способствует увеличению значений температуры по всей глубине прибрежных вод вплоть до 30-35 м. В апреле начинается процесс формирования сезонного термоклина. Мощность верхнего квазиоднородного слоя составляет около 10 м, среднесезонная температура воды составляет около 14.5-15°C. Значения температуры морской воды понижаются с глубиной, средняя вертикальная скорость равна -0.32°C/м, достигая максимума в -1.2°C/м на глубине около 30 м. У дна температура воды опускается чуть ниже 4°C (рисунок 2 б).

Соленость воды в весенний период на поверхности составляет 7.15 епс, постепенно повышаясь с глубиной до 8 епс. Стратификация устойчивая, средняя скорость роста с глубиной составляет 0.024 епс/м с максимумом в 0.05 епс/м на глубинах 28-33 м.

♦ В общих чертах весенний сезон характеризуется повышением температуры воды при незначительном понижении значений солености, вызванном увеличением объема материкового стока.

Прогрев воды с поверхности в **летний** период достигает своего естественного годового максимума, доводя среднесезонное значение температуры воды на поверхности до 19°C. Для вод открытой Балтики это значение ниже 17°C. С глубиной температура воды почти равномерно уменьшается до 30-35 м, достигая минимума в 6°C на глубине в 40 м. Вертикальный градиент температуры значителен, составляя -0.36°C/м с максимальным значением в -1°C/м. Сезонный термоклин хорошо выражен и расположен на глубинах от 14-17 до 30-35 м (рисунок 2 в).

Значения солености воды летом в поверхностном слое до горизонта 4 – 5 м составляют менее 7 епс, что вызвано большим количеством осадков, максимальный объем которых в регионе приходится на летний период [3,4,10,11]. В подповерхностном слое наблюдаются небольшой скачок солености и понижение параметра. Далее – слабое повышение солености до дна (7.5 епс), с глубины 30 м градиент повышается до 0.1 епс/м.

♦ Приведенный на рисунке 2 в профиль солености наглядно демонстрирует основные отличительные черты летней вертикальной структуры поля солености прибрежных вод Балтийского моря на Калининградском мелководье.

**Осенний** сезон характеризуется началом интенсивного процесса выхолаживания водной толщи с поверхности моря, под действием которого в поверхностном слое мощностью до 10 м устанавливается обратная термическая стратификация. Ниже, в диапазоне глубин 12-27 м наблюдается теплый слой воды. Термические градиенты на верхней границе этого слоя достигают 1.2°C/м. Глубже значения температуры воды плавно снижаются до глубины 35 м, где отмечается еще один скачок температуры: здесь с каждым метром она снижается на 0.5°C. Значение температуры воды в придонном слое составляет 12.7°C (рисунок 2 г).

◆ Отличительной особенностью осеннего сезона является образование под действием процессов конвекции мощного квазиоднородного слоя в поле солёности, который распространяется до глубины 30 м. Глубже отмечается заметное повышение солёности. Её значение у дна составляет около 7.4 епс.

### **Благодарности**

Отдельные этапы работы выполнены при поддержке грантов: РФФИ №15-35-50084 – мол\_нр (компьютерная организация данных), РФФИ №15-17-00020 (медианное осреднение, графическое представление данных) и РФФИ №14-37-00047 (анализ данных и описание результатов).

### **Список литературы**

1. Белкин И.М. Морфолого-статистический анализ стратификации океана. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 130 с.
2. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. 324 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том III Балтийское море. Выпуск I. Гидрометеорологические условия, ред. Ф.С. Терзиев, В.А. Рожков, А.И. Смирнова. Санкт-Петербург. Гидрометеоздат. 1992. 449 с.
4. Гидрология Балтийского моря [Электронный ресурс] // Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [Официальный сайт]. URL: <http://esimo.oceanography.ru/> (дата обращения 17.04.2012).
5. Гриценко В.А., Питербарг Л.И. Устранение “выбросов” в рядах гидрофизических измерений с помощью медианной фильтрации // Океанология. 1983. Т. XXIII, N 1. С. 161-163, с.175
6. Динамика вод Балтийского моря в синоптическом диапазоне пространственно-временных масштабов. Под ред. Е.А. Захарчука. Санкт-Петербург. Гидрометеоздат. 2007. 354 с.
7. Исследования и расчеты динамики и теплового состояния вод Балтийского моря и некоторых озер и рек его бассейна: Сб. ст./Под ред. И.К. Зеленого и А.В. Смирновой.- Л.: Гидрометеоздат, 1974.
8. Сизова Т.М. Статистика: Учебное пособие. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2005. - 80 с.
9. A systems analysis of the Baltic Sea / Wulff, F.V., Rahm, Lars, Larsson, P. (Eds.). 2001, XIX, 457 p.
10. HELCOM. Climate change in the Baltic Sea area / HELCOM Stakeholder Conference on the Baltic Sea Action Plan. Helsinki, Finland, 7 March, 2006. 48 p.
11. Miettinen M. The climate of the Baltic Sea basin // Marine meteorology and related oceanographic activities Report 41, WMO/TD 933. Geneva. 1998. 64 p.
12. Omstedt A., Elken J., Lehmann A., Leppäranta M., Meier H.E.M., Myrberg, K. Rutgersson, A. Progress in physical oceanography of the Baltic Sea during the 2003-2014 period. Progress in Oceanography 128, 2014. P.139-171.

**СЕКЦИЯ: ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ НА АКВАТОРИЯХ**

**Комплексное применение отраженных и рассеянных волн для повышения эффективности разведки и разработки месторождений УВ на акватории.**

**Радван А.А., Чиркин И.А. Ризанов Е.Г., Колигаев С.О.**

*Государственный университет «Дубна», г. Дубна, Московская область*

Успешность бурения глубоких скважин (с получением рентабельного притока нефти и/или газа) в среднем по данным мировой статистики [3] составляет ~30% при поиске, ~70% при разведке и ~95% при разработке месторождений УВ, что указывает на потенциальную возможность существенного снижения капитальных затрат при освоении данных месторождений УВ. Кроме того, в процессе разработки (особенно на поздней стадии) обычно 85-90% общего количества УВ добывают 10-15% всех скважин на месторождении, что обусловлено их «удачным» расположением в местах с повышенной проницаемостью коллектора. Учитывая высокую стоимость бурения скважин на акватории (по сравнению с сушей), необходимость их экологической безопасности [4] и потенциальную возможность кратного сокращения скважин при поиске, разведке и разработке месторождений УВ, представляется целесообразным предварительно (до бурения) определять места и направления вскрытия залежей УВ на основе информации о распределении проницаемости коллектора. Для решения этой задачи требуется применение комплекса таких сейсмических исследований, которые позволяют не только изучить по отражённым волнам (ОВ) строение и размеры ловушки УВ, но и определить латеральную неравномерность проницаемости коллектора, т. е. неравномерную интенсивность открытой трещиноватости пород-коллекторов.

Надежным индикатором открытой трещиноватости являются сейсмические рассеянные волны (РВ), которые образуются в геологической среде повсеместно на неоднородностях с размерами ( $l$ ) меньше ( $l \leq \lambda$ ) и значительно меньше ( $l \ll \lambda$ ) длины волны ( $\lambda$ ) [1]. Самой жесткой (в акустическом отношении) неоднородностью в геологической среде являются открытые трещины и на их совокупности (ансамбле) в пределах первой зоны Френеля, образуются наиболее интенсивные сейсмические РВ, т. к. их амплитуда на порядок выше, чем у рассеянных волн, возникающих на совокупности закрытых трещин, а также на физической и геометрической шероховатости в геосреде. Поэтому энергия сейсмических РВ доминантно характеризует интенсивность открытой трещиноватости (количество открытых трещин или трещинную пористость) в зоне Френеля.

Для изучения неравномерного распределения открытой трещиноватости в геологической среде решают две основные задачи:

- 1 - выделение РВ в наблюдаемом сейсмическом волновом поле
- 2 - позиционирование энергии РВ в исследуемом объёме геологической среды.

Основными трудностями решения этих задач являются, во-первых, существенно низкая (на 1-2 порядка) энергия РВ, чем у ОВ, и, во-вторых, повсеместность возникновения РВ в геологической среде (для сравнения, ОВ образуются только в точках зеркального отражения).

Для решения указанных проблем в Научной школе нефтегазовой сейсмоакустики профессора Кузнецова О.Л. была создана инновационная технология сейсморазведки «Сейсмический локатор бокового обзора» (СЛБО) [2]. В данной технологии реализован принцип локатора активного типа (см. рис.1а), содержащего площадные антенны излучения (АИ) и приёма (АП) с размерами 1-2 км в диаметре и количеством пунктов -  $\sim 10^2$ . Выделение

РВ выполняют на основе суперкратного накопления (более  $10^4$  сигналов в каждой точке сканирования геосреды), а «позиционирование» энергии РВ - по алгоритму фокусирующего сканирующего обзора нижнего полупространства. Для исключения влияния ближней зоны локатора, где формируются ОВ, используют боковой обзор за пределами этой зоны (рис. 1б). При изучении пространственного распределения открытой трещиноватости в технологии СЛБО предусмотрено как выполнение специальных наблюдений по схеме локатора (рис. 1а), так и переобработка полевых материалов МОГТ-2D и -3D с использованием лучевых схем нормального и бокового обзоров (рис. 1б) Для изучения пространственно-временного (4D) распределения трещиноватости в геосреде (например, для контроля гидроразрыва пласта, искусственного заводнения и др.) наблюдения СЛБО проводят в режиме мониторинга.

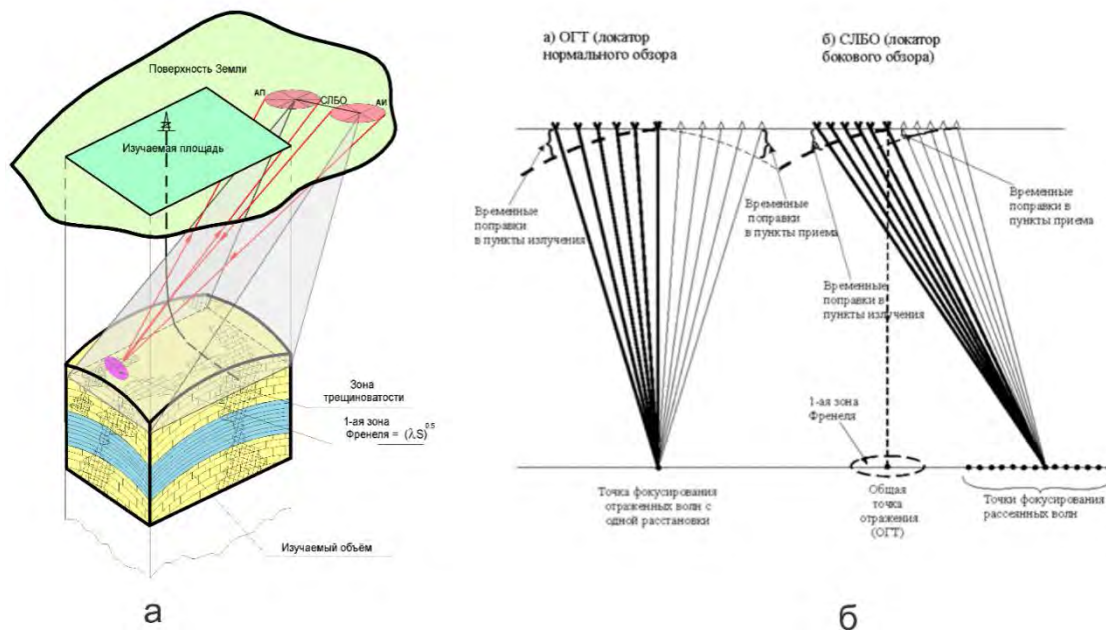


Рис. 1. Принципиальная схема наблюдения активным локатором - метод СЛБО (а) и лучевые схемы ОГТ - локатор нормального обзора и СЛБО - локатор бокового обзора (б). АП и АИ – апертуры приёма и излучения сейсмических волн соответственно.

Сейсмические работы по технологии СЛБО, начиная с 1991 года, выполнены более чем на сотне площадей в различных регионах РФ и за рубежом (Иран, США, Вьетнам, Бразилия и др.). Более чем в 20 скважинах, пробуренных с учетом данных СЛБО, получен максимально возможный приток УВ [2,5].

Показательным примером является разведка Куюмбинского месторождения УВ (Вост. Сибирь, Красноярский край) с площадью порядка 6 тыс. км<sup>2</sup> [6]. Здесь до применения сейсмических исследований СЛБО успешность бурения разведочных скважин составляла около 40%. Информация по трещиноватости геосреды была получена по технологии СЛБО на основе как переобработки исходным материалам 2D, так и специальных наблюдений по схеме активного локатора (рис. 1а). Полученная информация позволила выбрать места бурения разведочных скважин в зонах с аномально высокой трещиноватостью продуктивной толщи рифей-визейского возраста и получить высокие и максимально возможные (для участков месторождений) притоки нефти во всех вновь пробуренных скважинах В качестве примера на рис.2 представлена разведочная скв. 219, заложенная в зону аномально высокой трещиноватости. В результате её испытания здесь был получен аномально высокий приток



нефти (около 400 т/сут.) из рифейских отложений. В целом на Куюмбинском месторождении применение технологии СЛБО в комплексе с сейсморазведкой МОГТ-2D и бурением позволило оптимизировать геологоразведку и получить экономический эффект не менее 4,3 миллиарда рублей за счёт сокращения бурения разведочных скважин.

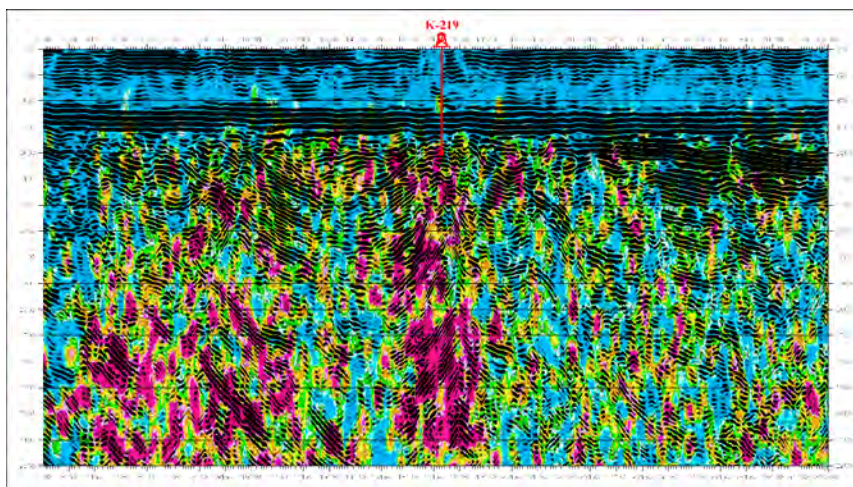


Рис. 2. Результаты переобработки сейсмических материалов МОГТ-2D по технологии СЛБО. Комбинированный разрез ОВ по МОГТ (черный цвет) и РВ по СЛБО (красный цвет - максимальная и синий — минимальная интенсивность открытой трещиноватости). Куюмбинское месторождение, Восточная Сибирь, РФ.

Другим примером комплексного использования ОВ и РВ являются результаты переобработки по технологии СЛБО материалов 3D, полученных на акватории шельфа Вьетнама в районе нефтяного месторождения «Золотой Тунец» (рядом с известным месторождением «Белый Тигр») в выступе кристаллического фундамента (рис.3). Получена информация о распределении открытой трещиноватости в геосреде на площади 350 кв. км в интервале глубин от -1500 м до -4500 м.

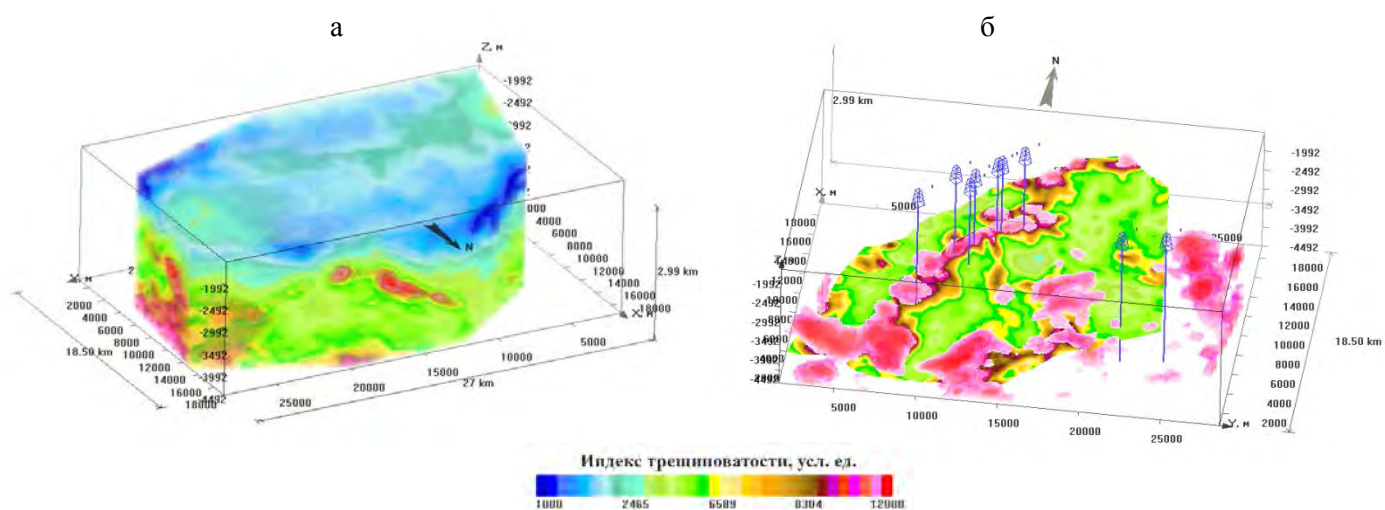


Рис. 3. Результат переобработки материалов морской сейсморазведки МОГТ-3D на площади 350 кв. км по технологии СЛБО. Представлено 3D-поле, открытой трещиноватости (а) и её распределение по кровле кристаллического фундамента (б). Месторождение нефти «Золотой Тунец» на шельфе Вьетнама, компания Petro Vietnam.

Результаты анализа поля трещиноватости показали полное прямое соответствие интенсивности трещиноватости и значений притока нефти (дебита) в вертикально пробуренных скважинах. Для горизонтально пробуренной скважины, ствол которой проходил по центральной части линейной зоны аномально высокой трещиноватости (вдоль основного простирания трещин), получен минимальный дебит нефти, т. е. обратное соотношение. Этот парадокс объясняется схлопыванием открытых трещин в околоскважинном пространстве, если азимутальные простирание трещин и направление горизонтального ствола совпадают. Нами данное явление наблюдалось неоднократно при совместном анализе дебитов горизонтальных скважин и распределения трещиноватости в геосреде. Поэтому данный пример позволяет сделать вывод, что бурение горизонтальных скважин необходимо проектировать на основе достоверной информации о распределении поля открытой трещиноватости, направление и траекторию горизонтального ствола необходимо закладывать ортогонально основному направлению трещиноватости с «заходом» (ствола) в локальные зоны аномально высокой трещиноватости. Именно по такому принципу была пробурена горизонтальная скважина на месторождении Кох-и-Монд в Иране, в которой после испытания был получен приток нефти более 1 тыс. м<sup>3</sup> в сутки.

### **Выводы**

1. Комплексное применение отражённых и рассеянных волн позволяет повысить эффективность обнаружения и изучения ловушки возможного скопления УВ, а также получить информацию о распределении открытой трещиноватости в геологической среде, что позволяет выбрать оптимальные точки и направления вскрытия залежи для получения высоких и максимально возможных притов нефти и газа во вновь пробуренных скважинах.
2. Комплексная информация по отражённым и рассеянным волнам может быть получена по материалам 2D и 3D морской сейморазведки на основе выделения и позиционирования данных волн в исследуемом объёме геосреды по процедурам ОГТ и СЛБО.

### **Список литературы**

1. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А. и др. [2004]. Сейсмоакустика пористых и трещиноватых геологических сред (в 3 т.). Том 2. Экспериментальные исследования. – М.: Государственный научный центр Российской Федерации – ВНИИгеосистем, 2004. – 362 с.: ил.
2. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., др. [2007]. Сейсмоакустика пористых и трещиноватых геологических сред (в 3 т.). Том 3. Новые технологии и решение прикладных задач. – М.: ООО «Центр информационных технологий и природопользования», 2007. – 434 с.: ил.
3. Тимурзиев А.И. Современное состояние практики и методологии поисков нефти – от заблуждений застоя к новому мировоззрению прогресса. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений: Научно – технический журнал. - М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2010, №11.
4. Чиркин И.А., Ризанов Е.Г., Каляшин С.В., Колигаев С.О., Радван А.А.. Мониторинг микросейсмической эмиссии для обеспечения экологической безопасности разведки и разработки нефтяных месторождений на акватории. Жур. Вестник Российской Академии Естественных Наук, 2014/4/ С. 8-14

5. O. L. Kouznetsov, I. A. Tchirkine and I. S. Faizulline, 2004, Optimization of production in fractured reservoirs using the SVSL data on open fracturing: 66<sup>th</sup> Annual International Conference and Exhibition, EAGE, Extended Abstracts. C045

6. R. N. Mukhametzyanov, S.I. Slionkin and I.A. Chirkin, 2006, Use of reflected and scattered seismic waves to build geologic model of Riphean reservoirs of east Siberia: 68<sup>th</sup> Annual International Conference and Exhibition, EAGE, Extended Abstracts. P306

**Сейсмопрофилирование и оценивание параметров дна морского шельфа при когерентном и некогерентном сейсмоакустическом зондировании.**

**Вера Игоревна Калинина<sup>1</sup>, Александр Игоревич Малеханов<sup>1</sup>,**

**Лев Романович Мерклин<sup>2</sup>, Александр Иванович Хилько<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики РАН»  
603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, E-mail: [almal@appl.sci-nnov.ru](mailto:almal@appl.sci-nnov.ru)

<sup>2</sup> ИО РАН им. П.П. Шишова, 117997, Москва, Нахимовский пр., 36

*Проводится сравнительный анализ методов сейсмоакустического зондирования морского дна, основанных на использовании некогерентных и когерентных источников зондирующих сигналов. Предложены алгоритмы когерентного пространственного и частотного накопления сигналов, отраженных от слоистого дна морского шельфа, которые апробированы экспериментально в натуральных условиях. Показано, что за счет высокой когерентности отраженных от дна сейсмоакустических сигналов оказалось возможным реализовать накопление слабых полезных сигналов с выигрышем помехоустойчивости до 30 дБ. При этом зондирование донных слоев на глубинах до ~1 км с относительно высоким пространственным разрешением практически осуществимо с использованием относительно маломощных (~100 Вт) источников, что обеспечивает выполнение экологических требований и, в том числе, возможность выполнения работ в акваториях со сверхмалыми глубинами.*

В современной практике морской сейсморазведки широко используется профилирование неоднородной донной структуры, основанное на использовании интенсивных сейсмоакустических (СА) импульсных источников взрывного типа и протяженных многоэлементных приемных антенных систем (сейсмокос). По экологическим требованиям мощность излучаемых видеоимпульсов ограничена. В этой связи актуальной остается проблема поиска и разработки альтернативных методов и технологий, обладающих как высоким потенциалом по пространственному разрешению и глубине проникновения, так и удовлетворяющих жестким требованиям экологической безопасности.

Одним из возможных подходов решения такой задачи является на применение когерентных широкополосных СА излучателей [1]. Когерентные источники позволяют излучать сложные широкополосные модулированные сигналы с большой базой. Такие сигналы, как известно, обладают «игольчатыми» функциями автокорреляции, которые эквивалентны видеоимпульсам значительно большей излучаемой мощности. Разрешающая способность такого метода СА профилирования, определяемая шириной функции неопределенности, растет прямо пропорционально базе сложного сигнала, что и является практически наиболее важным с точки зрения диагностики. Кроме того, при условии высокой воспроизводимости (взаимной когерентности) и синхронизации излучения таких сигналов может быть реализовано накопление большой последовательности принимаемых сигналов в пределах пространственно-временного интервала их взаимной когерентности. Величина последнего, очевидно, имеет ограничения сверху в нестационарных условиях распространения и приема зондирующих сигналов, что указывает на необходимость применения адаптивных алгоритмов обработки, частично компенсирующих эффект раскорреляция и позволяющих тем самым увеличить число накапливаемых импульсов. В контексте данной задачи, рост числа импульсов в такой когерентной последовательности

дает пропорциональный рост помехоустойчивости слабых сигналов от глубинных и(или) слабо-контрастных слоев, эквивалентный требуемому росту мощности одиночного сигнала.

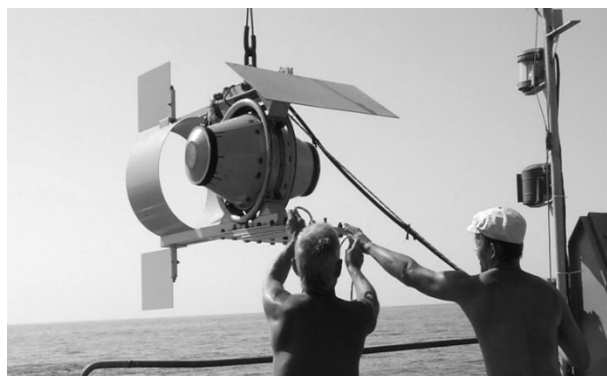


Рис. 1. Буксируемый гидросамолет с когерентным гидроакустическим излучателем.

В результате, уровень излучаемой мощности может быть понижен на несколько порядков, при условии достижения тех же глубин проникновения сигнала (определяемых выходным отношением сигнал/шум (ОСШ)) и пространственного разрешения реконструируемой структуры донных пород. Более того, столь значительный энергетический выигрыш позволяет рассматривать практические возможности глубинного профилирования с использованием более высокочастотных (до нескольких сотен Гц) сигналов, которые представляются более технологичными как в плане возможности использования более компактных излучателей, так и с точки зрения ослабления экологического ущерба.

Возможности когерентных методов морской сейсмоакустики исследовались в экспериментах на акватории Каспийского моря [1], в которых использовались два гидроакустических излучателя – стандартный для таких задач электроискровой разрядник (спаркер) и когерентный излучатель оригинальной конструкции (рис.1). Последний излучал синхронизированные последовательности ЛЧМ импульсов в различных частотных полосах  $\sim 50 \dots 100$  Гц в пределах широкого диапазона от  $\sim 100$  до  $\sim 1000$  Гц (наибольшая мощность излучения  $\sim 130$  Вт отвечала полосе излучения  $180 - 230$  Гц). В качестве приемной системы использовалась относительно небольшая сейсмокофа, состоящая из 25 синфазных гидрофонов. Принимаемые когерентные СА импульсные сигналы подвергались согласованной фильтрации и накоплению в пределах «длины когерентности» вдоль трассы протяжки. Величина последней ограничивалась главным образом вариациями глубины погружения буксируемого излучателя, а также наклонами и искривлениями отдельных отражающих донных слоев. При буксировке со скоростью не более 3 узлов взаимная когерентность принимаемых импульсов была ограничена снизу интервалом  $\sim 100 \dots 200$  сек, что позволяло осуществлять эффективное накопление десятков импульсов. В целях дальнейшего повышения качества реконструкции донной структуры был развит метод послыного траекторного накопления импульсов с учетом наклонов отдельных отражающих слоев, который позволил не только увеличить число импульсов в когерентной последовательности (практически, до  $\sim 100$ ), но и адаптивно оценить эти наклоны. Подчеркнем, что большинство принятых сигналов имели низкую помехоустойчивость (уровень входного ОСШ не превышал единиц дБ), однако, результирующий выигрыш выходного ОСШ достигал величины  $\sim 30$  дБ. Это позволило уверенно реконструировать структуру донных слоев в интервале глубин до  $\sim 1000$  метров, при этом слои в интервале

глубин свыше  $\sim 300\text{--}500$  метров, сильно ослабленные газонасыщенными отложениями, были полностью маскированы шумами без использования предложенных процедур обработки.

На рис. 2 показаны результаты реконструкции донной структуры вдоль одной из трасс протяжки, демонстрирующие высокую эффективность предложенного метода. Фрагменты структуры, содержащие слабоконтрастные слои, отчетливо «проявились» в результате накопления длинной серии импульсов, в то время, как только корреляционное сжатие отдельных импульсов на выходе согласованного фильтра не обеспечивало сколько-нибудь заметного контраста в условиях относительно небольшого ( $\sim 10$ ) значения базы используемых ЛЧМ сигналов.

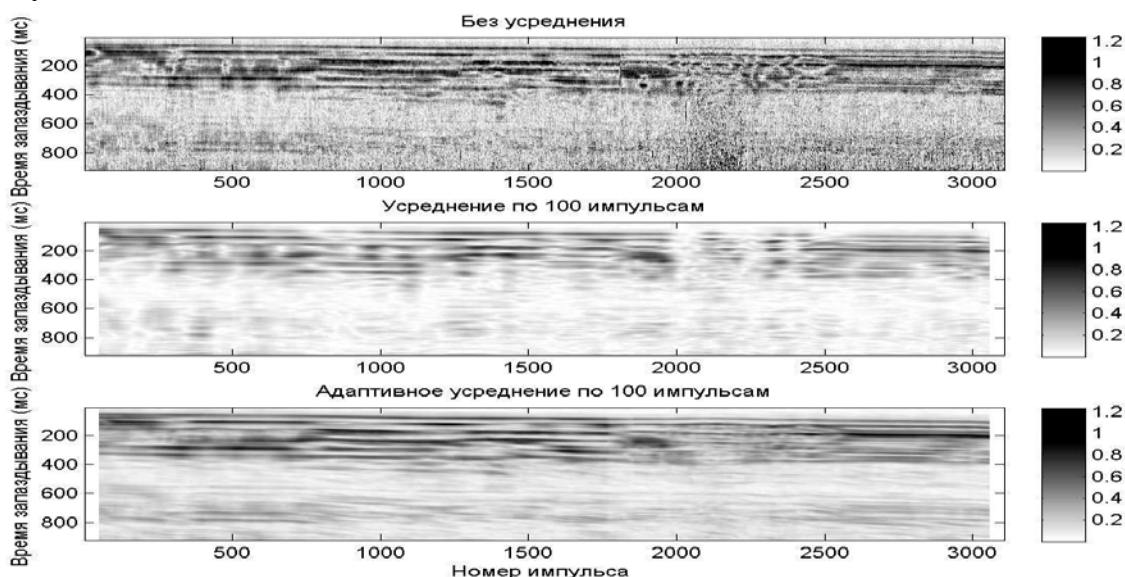


Рис. 2. Сейсмограммы, полученные по результатам зондирования с помощью ЛЧМ сигналов в полосе 180 – 230 Гц: вверху – без использования импульсного накопления, в центре – с использованием траекторного накопления серии 100 импульсов без адаптивной коррекции наклонов отдельных слоев; внизу – с использованием процедуры адаптивного траекторного накопления той же серии. Показанный интервал временных задержек 0 – 1000 мс отвечает глубинам до  $\sim 1000$  м.

Важно, что применение когерентных СА излучателей позволяет оценивать не только положение границ раздела, но и геоакустические параметры донных слоев. Решение такого рода обратной задачи основывается на методах регуляризации с привлечением необходимого объема априорной информации. Заранее очевидно, что подлежащая минимизации целевая функция в данном случае оказывается весьма сложной, поскольку еще более сложной (многопараметрической) становится модель реконструируемой среды даже при относительно небольшом числе слоев. Построение адекватной многопараметрической модели формирования полезного сигнала на входе приемников и количественный прогноз его реплики на основе модельного расчета (прямая задача) является при этом необходимым этапом и требует отдельного исследования. Предварительное моделирование показывает, что послойная «расшифровка» геоакустических параметров донных слоев (плотности и скорости продольных волн) предъявляет высокие требования к уровню входного ОСШ и становится практически неосуществимой для слабоконтрастных слоев.

На рис. 3 (слева) показана использованная при расчетах модель упругого полупространства. Как видно из расчетов, выполненных с использованием приближения геометрической акустики [2] (рис. 3, справа), уровни различных волновых компонент,



отраженных от слоистого полупространства, отличаются на 2-4 порядка, причем средние их значения быстро спадают с глубиной. В расчетах рассматривался вариант возбуждения ЛЧМ импульсов в полосе частот от 150–250 Гц и мощности источника 300 Вт. Отметим, что волновые компоненты, связанные с обменным переизлучением энергии в поперечные волны, в целом, существенно слабее по сравнению с продольными волнами. Возможности достоверного измерения таких слабых компонент отраженного сигнала зависят от уровня излучения, потерь при распространении и уровня помех и шумов.

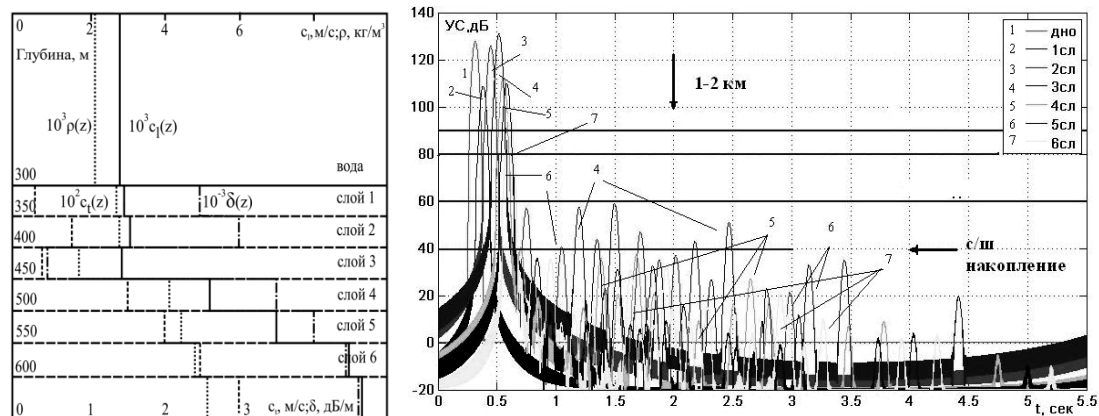


Рис. 3. Модель дна (слева) и последовательность отраженных импульсов(справа).

Из сравнения уровней рассчитанных сигналов и помех следует, что при уровнях излучения  $\sim 100-300$  Вт достоверное измерение волновых компонент, связанных с переизлучением акустических полей в поперечные волны, возможно в основном при наличии достаточно контрастных границ до глубин  $\sim 200-300$  метров. Для них измерение времен прихода и амплитуд компонент, связанных с трансформацией энергии в поперечные волны, дает дополнительные возможности для реконструкции параметров слоев. В частности, в некоторых случаях, совокупность параметров всех волновых компонент позволяет свести решение обратной задачи к решению системы алгебраической уравнений. Исходя из проведенных расчетов и анализа, можно предположить, что основную информацию о структуре донных слоев, можно извлечь из оценок волновых компонент, связанных с монотипными продольными волнами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-29-02081) и частично в рамках госзадания ИПФ РАН (тема № 0035-2014-0003) и программы Президиума РАН «Мировой океан – многофазность, многомасштабность, многокомпонентность».

### Список литературы

1. Лазарев В.А., Малеханов А.И., Мерклин Л.Р., Романова В.И., Таланов В.И., Хилько А.И. Когерентное сейсмоакустическое профилирование морского дна с использованием широкополосных сигналов // Океанология. 2013. Т. 53. № 6. С. 843-850.
2. Романова В.И., Хилько А.И., Смирнов И.П. Использование модели отражения импульсов от упругого слоистого дна для реконструкции параметров слоев при буксировке когерентного акустического излучателя в мелком море / Сборник трудов XXV сессии Российского акустического общества. Т.2. – М.: ГЕОС. 2012. С.280-285.

## **Опыт применения данных трехмерной съемки параметрическим профилографом для решения археологических задач в мелководной части Таманского залива.**

**Шматков Алексей Алексеевич<sup>1</sup>, Ольховский Сергей Валерьевич<sup>2</sup>,**

**Верхняцкий Андрей Александрович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Marine Geo Service (ООО «МГ-Сервис»), Москва,*

<sup>2</sup> *Институт археологии РАН, Москва*

### **Введение**

Фанагория – крупнейший античный город на территории РФ – была основана греческими колонистами на побережье Таманского залива в VI в. до н.э. Вскоре приобретенный статус столичного города на торговом пути из Средиземноморья в Азов был подкреплён строительством порта – единственного на Азиатском Боспоре. В результате фанагорийской трансгрессии Черного моря к I в. н.э. порт и прибрежная часть города оказались затоплены. Новые причалы были сооружены в III в. н.э., но и они к VIII-IX вв. н.э. оказались под водой. Ныне археологические объекты на затопленной прибрежной террасе и в древнем порту перекрыты слоями песчано-илистых осадков и теперь могут быть обнаружены только при подводных раскопках, либо с помощью геофизических методов.

Начиная с 2011 года на участке акватории площадью более 15 Га проводятся профильные гидромагнитные и сейсмоакустические наблюдения с целью выявления перспективных археологических объектов. В результате этих работ в акватории древнего порта выявлен целый ряд объектов, но обширное мелководье (глубины менее 1.5 м) остается малоизученным из-за технических ограничений применяемых методик и аппаратуры.

В полевой сезон 2016 года в рамках исследовательской деятельности подводного отряда Фанагорийской экспедиции Института археологии РАН был разработан и испытан прототип многофункциональной самодвижущейся платформы для проведения трехмерных сейсмоакустических наблюдений в условиях мелководных акватория (1 – 3 м) с использованием параметрического профилографа SES-2000 compact.

### **Особенности трехмерных сейсмоакустических наблюдений на мелководных акваториях**

В условиях предельного мелководья (глубина воды менее 5 м) эффективность проведения трехмерных сейсмоакустических наблюдений значительно снижается. Это, в первую очередь, связано с ограничениями на максимальное расстояние между источником и приемниками, поскольку с ростом удаления будет происходить растяжение сейсмического импульса, интерференция с прямой волной и другие негативные явления. При использовании методик трехмерных наблюдений, основанных на буксировании нескольких одно- или многоканальных сейсмических кос или с фиксированным приемоизлучающим массивом, в этих сейсмогеологических условиях необходимо ограничивать ширину приемоизлучающей системы и, следовательно, уменьшать межпрофильное расстояние, что снижает экономическую эффективность.

Еще одним фактором, осложняющим работу на мелководных акваториях, является необходимость обеспечения высокой точности навигационной привязки получаемых данных. Поскольку в этих условиях работу необходимо проводить с маломерных судов, то обеспечить точное соблюдение плановых профилей зачастую бывает затруднительно, а работа в сложных гидрометеорологических условиях и вовсе представляется невозможной.

### Технология проведения трехмерных сейсмоакустических наблюдений

Трехмерную сейсмоакустическую съемку в условиях предельного мелководья было решено выполнить с использованием многофункциональной самодвижущейся платформы «Слейпнир», разработанной в научно-техническом центре Marine Geo Service (г. Геленджик). Платформа состоит из (1) рамы (ширина 2.4 м, длина 2.7 м), на которой установлены 4 колесные пары с двигателями, электроника в герметичных боксах и система электропитания; (2) вертикальной рамы для размещения электроники в брызгозащитном боксе; (3) ферменной конструкции длиной 5.5 м для движения каретки с антенной профилографа (Рис. 1).

Для проведения сейсмоакустических наблюдений использовался параметрический профилограф SES-2000 compact, установленный на самодвижущейся каретке (Рис. 2). Позиционирование и местоопределение осуществлялось с использованием дифференциального ГНСС-приемника Trimble SPS 461 в режиме RTK. Антенна была закреплена непосредственно над антенной профилографа. Базовая станция ГНСС располагалась в прямой видимости от района работ на удалении порядка 1.5 км.

Для передачи энергии и обмена данными с платформой использовались компоненты телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) МСС-350. Лебедка с кабелем (длиной 350 м) размещалась на берегу, где был организован пост управления платформой «Слейпнир». Оператор в реальном времени контролировал все движения платформы, а также осуществлял визуальный контроль (в том числе с использованием подводной Full-HD камеры).

Съемка проводилась в старт-стопном режиме: после установки конструкции в заданную точку по команде оператора каретка с приемоизлучающей антенной начинала движение и проводилось сканирование по линии длиной 5 метров. После этого производилось смещение платформы вдоль линии профиля на расстояние 0.2-0.25 м.

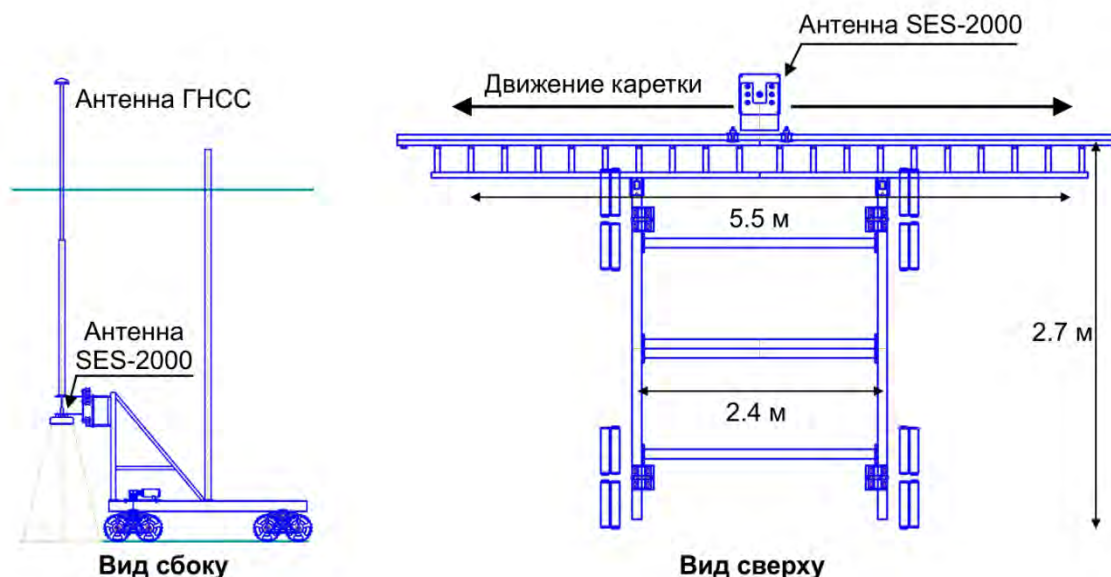


Рис. 1. Схема многофункциональной самодвижущейся платформы «Слейпнир».



Рис. 2. Внешний вид платформы «Слейпнир» с профилографом SES-2000.

### **Результаты опытно-методических работ и выводы**

Опытно-методические работы проводились в августе 2016 года на берегу Таманского залива, неподалеку от поселка Сенной, на территории Фанагорийской археологической экспедиции. Для проведения экспериментов был выбран участок акватории размером  $50 \times 50$  м, плановое межпрофильное расстояние – 5 м.

Во время проведения опытно-методических работ были изучены особенности движения самодвижущейся платформы по различным типам грунтов: участки дна, покрытые песком или плотными водорослями, не представляют сложности для перемещения платформы с колесным приводом, в то время как наличие большого слоя ила ухудшает проходимость. В процессе испытаний для работы в условиях илистого дна были внесены изменения в конструкцию платформы «Слейпнир», что, однако, не позволило в полной мере выполнить весь объем работ, запланированных на полевой сезон 2016 года.

Во время проведения полевых работ была проведена экспресс-обработка данных и был получен сейсмический куб размером  $30 \times 5$  м. Анализ данных показал наличие аномального объекта в верхней части донных отложений на глубине порядка 0.5 метра ниже уровня дна. После этого был проведен размыв грунта и визуальный осмотр водолазами. В результате было обнаружено скопление камней размером  $0.5 \times 0.5$  метра. Таким образом, предварительный анализ полученных сейсмоакустических данных показал принципиальную возможность получения объемного изображения верхней части донных отложений.

## **О некоторых возможностях айгеноскопии.**

**Исакевич Даниил Валерьевич, Исакевич Валерий Викторович, Грунская Любовь Валентиновна**

*ООО «Собственный вектор», Владимирский государственный университет,  
г. Владимир*

Цель доклада – привлечь внимание разработчиков к возможностям, которые открывает конструкция анализатора временных рядов экспериментальных данных, получившего название «айгеноскоп» (от нем. Eigen – «собственный», греч. skopeo – «наблюдаю»). Эта конструкция закреплена в нескольких патентах, основной из которых – «Анализатор собственных векторов и компонент сигнала» [1]. Наиболее очевидные области применения айгеноскопии – анализ естественного сейсмического и акустического фона, а также искусственно возбуждённых колебаний.

При обработке временного ряда в айгеноскопе используются два времени – «длинное» и «короткое». Длинное время совпадает с длительностью временного ряда, короткое – выбирается исходя из решаемой задачи и представляет собой время на конечном интервале анализа. Формируется ансамбль – некоторый набор интервалов анализа; столбцы матрицы ансамбля содержат последовательности отсчётов временного ряда на конкретных интервалах анализа. Для представления временного ряда на каждом из интервалов анализа используется адаптивный ортонормированный базис, вид которого определяется свойствами самого временного ряда. В качестве базисных функций используются собственные векторы ковариационной матрицы, построенной на ансамбле.

При предлагаемом подходе базисные функции определяются свойствами самого временного ряда и являются носителями его свойств. Эта особенность накладывает отпечаток на всю процедуру айгеноскопии: анализу подвергаются не только коэффициенты разложения временного ряда в базисе, но и сами базисные векторы.

Ортонормированный базис собственных векторов особый: представление ансамбля с в базисе собственных векторов будет, при заданной точности представления, наиболее выразительным – то есть потребует наименьшего числа компонент. Именно такой базис и используется в айгеноскопии. Во многих случаях этот базис имеет ясный физический смысл.

Ковариационная матрица всего ансамбля распадается на независимые друг от друга (ортгональные) слагаемые, вес которых определяется собственными значениями, а форма – собственными векторами. Если некоторая компонента в составе ковариационной матрицы описывает колебания, возбуждённые внешним воздействием, то можно предположить, что величина собственного значения связана в большей степени с интенсивностью воздействия, а собственный вектор – со свойствами среды, в которой возбуждено колебание. Из этого непосредственно следует, что уменьшение интенсивности внешнего воздействия будет приводить к уменьшению собственных значений, но не к изменению формы собственных векторов.

Айгеноскоп осуществляет анализ совокупности собственных векторов, спектров собственных значений (в том числе нормированных) и коэффициентов разложения, а также покомпонентный анализ ковариационной матрицы. Поэтому айгеноскопия может служить основой высокочувствительных методов, требующих меньшего внешнего воздействия для изучения свойств среды – вплоть до перехода к пассивным методам.

Именно поэтому при айгеноскопии особый интерес представляет анализ энергетически недоминирующих собственных векторов, имеющие малые собственные значения. Эти собственные векторы содержат информацию о слабых внутренних взаимосвязях в поведении ряда на интервале анализа, скрытых под более сильными доминирующими взаимосвязями, как правило, недоступную при других методах анализа.

Использование представлений временных рядов в базисах собственных векторов не является новым. Понятия собственных (нем. Eigen) векторов (функций) и чисел (значений) ввёл в оборот Давид Гильберт в начале XX в. В 1947 г. было предложено разложение Карунена-Лоэва – представление случайного процесса в базисе собственных функций, нашедшее широкое применение в задачах обнаружения, анализа и классификации. В XX веке использование подобных представлений (включая метод главных компонент) расширялось по мере роста доступных вычислительных мощностей: в 1970-е гг. для выявления аттракторов хаотического поведения систем был предложен анализ сингулярного спектра; в 1962 г. группой академика А. Н. Колмогорова предложен метод «Гусеница» для выявления во временных рядах периодичностей. Также известен подход, использующий анализ самого базиса собственных векторов (называемых эмпирическими ортогональными функциями).

Отличия айгеноскопии от вышеприведённых методов лежат не в математической, а в прагматической плоскости. При айгеноскопии акценты смещены с математических вопросов на технические и методические. Два главных методических вопроса – это способы формирования ансамблей для различных прикладных задач и поведение собственных векторов и спектров собственных значений – типологии. Эти два главных методических вопроса взаимосвязаны и пока что до конца не исследованы.

Выявление недоминирующих составляющих потребовало формирования типологий – систематизированных описаний признаков, характеризующих собственные векторы и собственные значения для разных классов временных рядов и при разных способах формирования ансамбля. Для исследования типологий широко используется вычислительный эксперимент [2].

Авторами исследованы разные способы формирования ансамбля и построены типологии для разных классов временных рядов: периодических и квазипериодических рядов [3, 4], импульсных серий [5], стохастических временных рядов [6]. Показано, что для выявления спектрально локализованных составляющих следует использовать в качестве ансамбля траекторную матрицу, а для выявления периодических и квазигармонических составляющих ансамбль должен состоять из отрезков временного ряда, сдвинутых друг относительно друга на фиксированное число отсчётов [3, 4]. Для анализа стохастических сигналов в гауссовском приближении (например, для выявления модуляции гауссовского шума – ансамбль следует формировать не из отсчётов сигнала на интервале анализа, а из их попарных произведений [6]). Изучена типология собственных векторов и спектров собственных значений при айгеноскопии временных рядов колебаний в линейных системах. Показано, что айгеноскопия позволяет выявлять слабые (в том числе затухающие) моды, резонансы, периодические параметрические воздействия; выявлять параметрические воздействия на линейную систему с большим (порядка десяти тысяч) степеней свободы [2].

Знание типологий позволяет строить эффективные схемы обработки и отображения информации, реализуемые в виде айгеноскопов. Так, общедоступные вычислительные возможности позволяют при использовании стандартных АЦП выявлять составляющие,



лежащие в диапазоне 1-20 Гц, с уровнем до -80 дБ при длине интервала анализа до 1000 отсчётов и времени наблюдения до 5-15 минут.

Прикладное использование айгеноскопии находится в начальном состоянии; расширение использования в сильной степени зависит от заинтересованности исследователей и разработчиков. Авторами доклада разработаны прототипы айгеноскопов (в том числе на базе высокопроизводительных отечественных комплексов архитектуры «Эльбрус»), позволяющие продемонстрировать возможности подхода. Мы ждём контактов с заинтересованными исследователями и разработчиками.

### **Список литературы**

1. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В. Анализатор собственных векторов и компонент сигнала. Патент РФ на полезную модель №116242. Приоритет 30.09.2011.
2. Исакевич Д.В. Основы анализа собственных векторов и компонент регулярных колебаний. М.: Издательство «Перо», 2015 – 140 с. [Электронное издание] ISBN 978-5-00086-934-5.
3. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В., Сушкова Л.Т., Лукьянов В.Е. Частотные свойства ковариационной матрицы и её собственных векторов при анализе полигармонических временных рядов / Электромагнитные волны и электронные системы, 2013, т.18, №11, с.24-33.
4. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В., Сушкова Л.Т., Лещев И.А. О характеристиках анализатора собственных векторов и компонент сигнала при анализе квазипериодических временных рядов / Методы и устройства передачи и обработки информации, 2014, №16, с.49-53.
5. Исакевич Д.В., Исакевич В.В. Кардиоайгеноскоп – новая полезная модель обработки электрокардиограмм. М.: Издательство «Перо», 2014, ISBN 9-785000-862803, 138 с.
6. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В., Сушкова Л.Т., Лукьянов В.Е. Анализ собственных векторов матриц моментов четвертого порядка при выявлении амплитудной модуляции гауссовского шума / Нелинейный мир, 2014, т.12, №1, с.29-34.

## **Вопросы обустройства морских геофизических полигонов.**

**Колигаев Олег Анатольевич, Колигаев Сергей Олегович, Вазнис Виктор Валерьевич, Яблокова Юлия Викторовна**

*Университет «Дубна», г.Дубна*

Одним из основных направлений современного развития топливно-энергетического комплекса является повышение внимания к проблемам освоения морских недр и, в первую очередь, развитие промышленных технологий разведки, обустройства и разработки месторождений углеводородов на морском континентальном шельфе [1]. Следует отметить, что все эти работы являются высокотехнологичными, осуществляются и поддерживаются значительным количеством самой разнообразной геофизической аппаратуры. Существенная роль в полном перечне используемой в этих процессах геофизической аппаратуры, отводится гидроакустическим средствам, задействованным с самых первых этапов начиная от позиционирования пространственно-развитых геофизических систем в процессе поиска месторождения, до гидроакустического мониторинга подводной обстановки [2].

Усложнение методов и технологий собственно геофизических исследований континентального шельфа повышают требования к встроенной и сервисной гидроакустической аппаратуре. Таким образом, вопрос обеспечения требуемых технических характеристик гидроакустической аппаратуры является вопросом первостепенной важности. Требуемые технические характеристики обеспечиваются правильно заложенными моделями условий функционирования в процессе расчета параметров отдельных узлов и блоков, качеством их проектирования и изготовления, объемом и условиями различного рода испытаний. Особая роль в испытаниях аппаратуры отводится ее натурным испытаниям, где собственно и оценивается степень реального соответствия полученных технических характеристик заданным техническим требованиям.

Естественно, что максимально объективную оценку соответствия технических характеристик предъявляемым техническим требованиям можно получить, проводя испытания непосредственно в заданных условиях применения. Однако, сделать это в большинстве случаев не представляется возможным в силу объективных причин, большей частью связанными с организационными трудностями и большими материальными затратами. Поэтому расходы на организацию и долговременную поддержку в рабочем состоянии полигона в месте расположения предприятия разработчика аппаратуры может оказаться существенно меньшей, чем расходы на организацию даже однократных испытаний в реальных условиях применения. При этом следует отметить, что в большинстве случаев реальные условия применения оказываются существенно более благоприятными, с точки зрения условий функционирования аппаратуры, по сравнению с полигонными. Основным, усложняющим условия функционирования фактором, например, в нашем конкретном случае существенной удаленности от морского побережья, является мелководный характер водоемов, в которых даже потенциально возможна организация такого рода полигона.

Первостепенное значение имеет наличие собственно информации о параметрах соответствующего фактора, влияющего на эффективность работы аппаратуры. А это означает необходимость наличия на акватории полигона соответствующих измерительных средств и обеспечение возможности сопоставления значений параметров акустического поля, в большинстве случаев акустического давления в различных точках пространства, значениям параметров факторов на него влияющих.

Остановимся на проблеме оценки вертикального профиля скорости звука, как одного из самых существенных факторов влияющих на распространение звука в диапазонах частот работы интересующих нас гидроакустических средств.

Обычно для этих целей используются погружаемые измерители скорости, например, «mini SVP» производства фирмы Valeport. Данные устройства обеспечивают высочайшую точность оценки локальной скорости звука, обладая при этом минимальными массогабаритными характеристиками. Использование такого рода измерителей вполне оправдано при наличии достаточно стабильных или плавно меняющихся во времени и однородных на всей акватории полигона внешних условий. В этом случае во время проведения экспериментальных работ или испытаний достаточно организации относительно редких измерений профиля скорости в любой точке акватории. Совсем иной подход необходим, когда измеряемый профиль скорости звука под действием изменяющихся внешних условий подвержен существенным изменениям, как в пространственной, так и во временной области. В такой ситуации возникает необходимость периодической оценки вертикального профиля скорости звука в нескольких точках акватории. При этом, с одной стороны нарушаются условия проведения собственно эксперимента (ради которого измерения профиля скорости и предназначены) за счет неизбежных перемещений внутри полигона, а с другой стороны сводятся на нет достоинства высоких точностных характеристик измерителей скорости звука. В том случае, когда необходимо обеспечение минимального влияния на внутреннюю область акватории полигона во избежание нарушений в передаточной характеристике среды распространения гидроакустического сигнала, иногда можно пожертвовать абсолютной точностью измерений в обеспечение возможности относительных измерений в пространственной или временной области.

Очевидным, на первый взгляд, решением такого рода задачи является стационарная вертикальная цепочка датчиков прямого измерения скорости звука. Однако реализация такого технического решения оказалась бы слишком затратной. Оптимальным, с экономической точки зрения, техническим решением в этом случае является стационарная вертикальная цепочка датчиков косвенного измерения скорости звука. Для мелководных и пресноводных акваторий учет таких параметров среды как давление и соленость не приведет помимо некоторого постоянного смещения к значительным ошибкам в оценках скорости звука косвенным методом, поэтому можно ограничиться измерениями только вертикального профиля температуры.

Мелководный характер полигона обуславливает чрезвычайно высокую и непосредственную зависимость условий функционирования гидроакустической аппаратуры от таких факторов как близость и взволнованность поверхности, наличие и характер течений, вертикальный профиль скорости звука. Степень влияния того или иного фактора на результат работы гидроакустической аппаратуры зависит от возможностей адаптации аппаратуры к изменяющимся условиям функционирования и, соответственно, возможности учета этих изменений программно-алгоритмическим или конструктивным путем. Адаптивные способности аппаратуры к изменениям в профиле скорости звука могут заключаться, например, в наличии возможности изменения угла наклона диаграмм направленности излучающей и приемной антенн в вертикальной плоскости или возможности изменения глубины установки гидроакустической аппаратуры. В связи с этим, чрезвычайно важно обеспечить, с одной стороны, создание и подбор параметров математической модели распространения гидроакустических сигналов в реальных условиях полигона, а с другой

стороны, обеспечить контроль адекватности этой модели реальным условиям функционирования аппаратуры в конкретный момент времени. Обеспечить это можно, например, оценкой вертикального разреза акустического поля в нескольких или даже в одной точке акватории им сравнении полученного разреза с результатами математического моделирования.

Естественным техническим решением в этом случае является совмещение в одном устройстве измерителей вертикальных разрезов скорости звука и акустического поля.

На рис.1 представлено такое устройство длиной 18м, предназначенное для постановки на акватории с максимальной глубиной 18м. Для детального построения верхней, наиболее изменчивой части температурного разреза, расстояние между датчиками температуры в вертикальной приемной антенны составляет 0.5м с 1 по 7 и 1.5м с 7 по 17. На рис. 2 представлены временные реализации сигналов находящегося на расстоянии  $r=350$ м импульсного гидролокатора (частота несущей  $f_n=50$ кГц, длительность импульса  $\tau_n=0.4$ мс) на приемных элементах вертикальной антенны. На рис.3 и рис.4 представлены вертикальный температурный разрез и его разверта во времени в течение нескольких дней с явно выраженной суточной изменчивостью. Наличие долговременных данных о температурном разрезе позволяет помимо обеспечения возможности интерпретации результатов экспериментов обеспечивать и возможность их долгосрочного планирования. На рис.5 представлены вертикальные разрезы акустического поля при различных вертикальных углах наклона диаграммы направленности излучающей антенны гидролокатора, где явно видна возможность формирования в месте расположения вертикальной антенны более ярко выраженного фронта сигнала отраженного от поверхности.

В заключение хотелось бы отметить, что наличие на акустическом полигоне такого контрольно-измерительного инструмента, как измеритель вертикальных температурных и акустических разрезов, существенно упрощает все процессы планирования и интерпретации результатов практически любых экспериментальных исследований и испытаний гидроакустической аппаратуры.

### **Список литературы**

1. О.Л.Кузнецов, С.Л.Арутюнов, Ю.А.Курьянов, И.А.Чиркин, О.А.Колигаев, С.О.Колигаев, Е.А.Старожук, «О применении стационарных донных сейсмоакустических систем в геофизических исследованиях и разработке нефтегазовых месторождений на шельфе», Труды Всероссийской научно-технической конференции «Научное и техническое обеспечение исследований и освоения шельфа северного ледовитого океана», Новосибирск, 2010 г.

2. Колигаев О.А., Добрянский В.М., Колигаев С.О., Селезнев А.В., Кузьменков И.В., Чекер А.В., «О комплексе средств антитеррористической защиты морских и прибрежных объектов», журнал «Морские информационно-управляющие системы», 2012 №1



Рис. 1. Измеритель вертикального акустического и температурного разрезов.

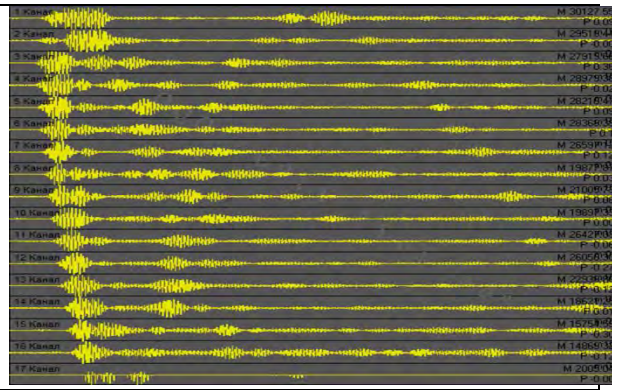


Рис. 2. Вертикальный акустический разрез.

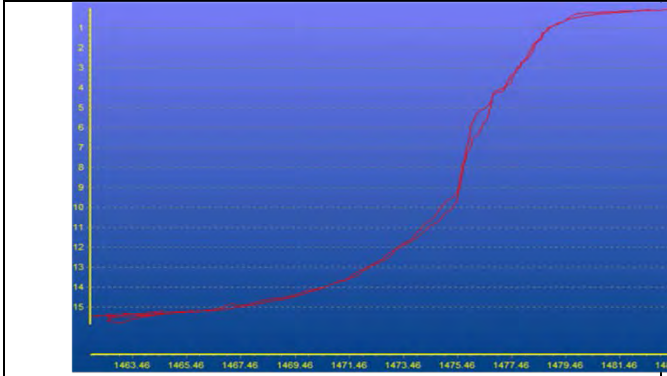


Рис. 3. Вертикальный температурный разрез.

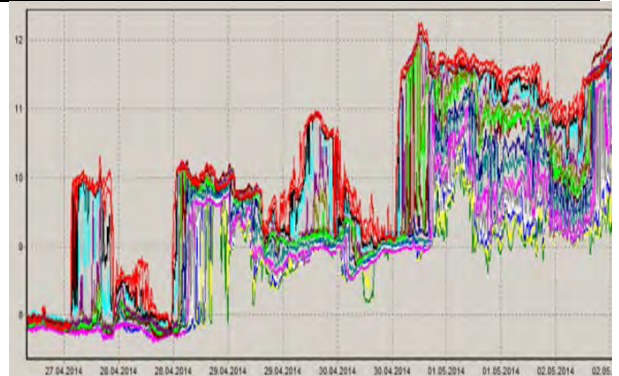


Рис. 4. Развертка вертикального температурного разреза во времени.

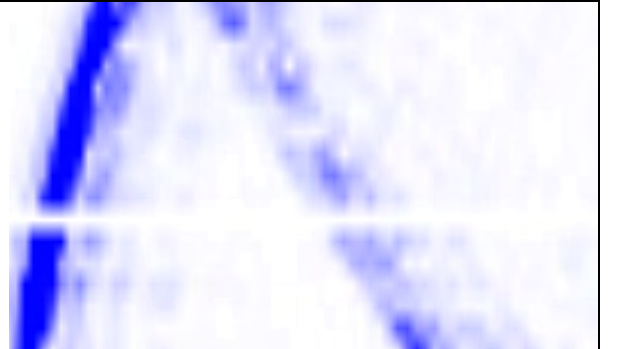
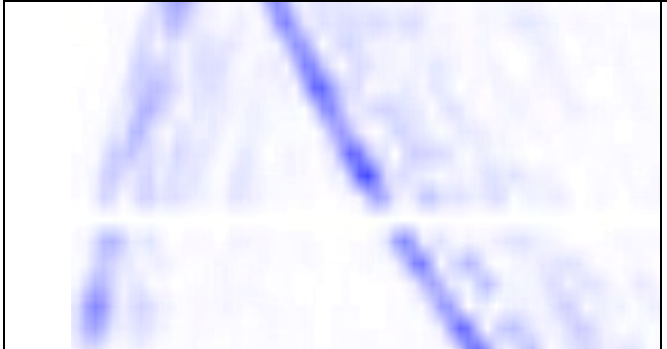


Рис. 5. Вертикальные разрезы акустического поля при различных вертикальных углах наклона диаграммы направленности излучающей антенны гидролокатора.

### Поведение акустической волны в полужидких отложениях.

**Крылов Павел Сергеевич, Нургалиев Данис Карлович, Ясонов Павел Георгиевич**

*Казанский (приволжский) федеральный университет*

При проведении сейсмоакустических исследований на акваториях могут возникать различные регулярные волны-помехи, не являющиеся однократно-отраженными от изучаемых границ раздела. К этим волнам относят прямую волну, боковые волны, комбинационные волны (Рис. 1).

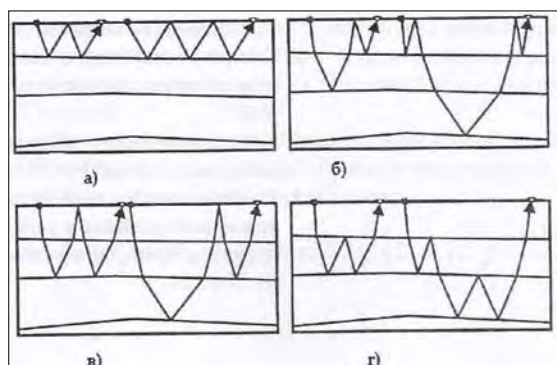


Рис. 1. Различные типы кратных волн: а) реверберационные волны в водном слое; б) неполнократные волны в водном слое; в) полнократные волны; г) комбинационные волны [Шалаева Н.В., Старовойтов А.В., 2010].

Из геометрии лучей реверберационных неполнократных волн ясно, что различие во времени прихода однократной и реверберационной волн определяется только дополнительным временем пробега. Комбинационные и неполнократные в водном слое волны имеют множество кинематических и динамических аналогов (Рис. 2). Кинематические аналоги – волны, имеющие равные времена пробега, что обусловлено тем, что они проходят одни и те же пути, но в различной последовательности. Динамические аналоги – волны равной интенсивности, испытывающие одно и то же количество отражений на одних и тех же границах, но в различной последовательности. На рисунке 2 изображены примеры кинематических и динамических аналогов для неполнократной реверберационной волны второй и третьей кратности в водном слое.

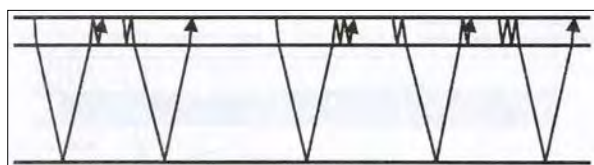


Рис. 2. Кинематические и динамические аналоги неполнократных волн [Шалаева Н.В., Старовойтов А.В., 2010].

При сейсмоакустических исследованиях озера Балхаш (Казахстан) были зарегистрированы полнократные волны (Рисунок 3, граница В') и неполнократные волны (Рис. 3, граница А'В).



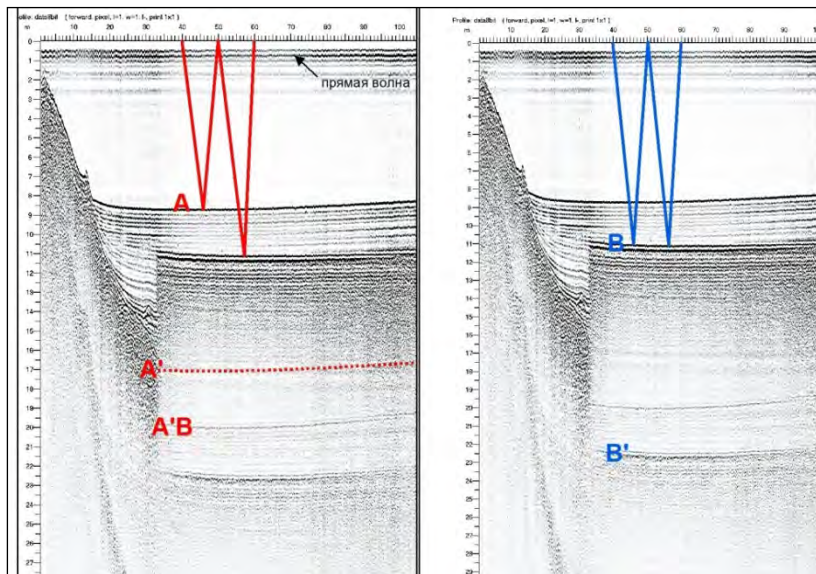


Рис. 3. Неполнократное (A'B) и полнократное (B') отражение на сейсмоакустическом разрезе 2.

Полнократная волна от дна (граница A') отсутствует, однако порождается неполнократная волна (Граница A'B) от границы B.

При таком ходе лучей границы A'B и B' должны быть схожими. На Рисунке 4 представлены особенности газовой границы B, проявляющиеся на обоих кратных отражениях (A'B и B'). В правой части разреза происходит потеря корреляции отражающей газовой границы B, на кратных отражениях A'B и B' наблюдается та же картина. В левой части наблюдается небольшое поднятие, и также его видно на кратных волнах.

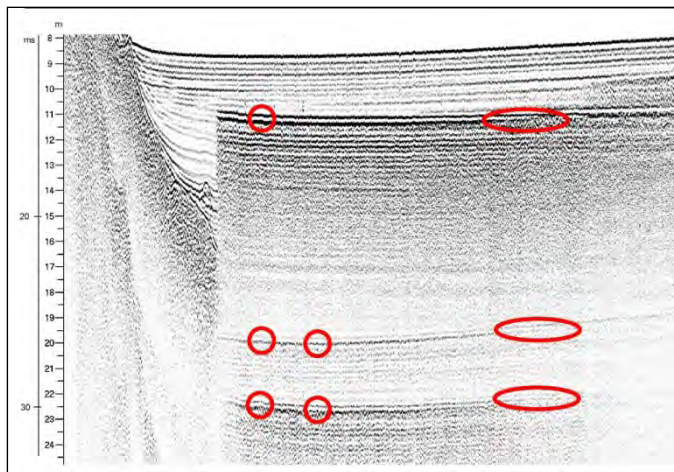


Рис. 4. На сейсмоакустическом разрезе выделены области особенностей газовой границы, проявляющиеся на обоих кратных отражениях.

Такой ход луча может объясниться краткосрочным изменением свойств придонных полужидких отложений (уменьшением коэффициента отражения) под воздействием ударной акустической волны, с дальнейшим восстановлением этих свойств к следующему возбуждению волны (период возбуждения 2 секунды).

На озере Тургояк (Челябинская область) (Рис. 5) кратное отражение от дна отсутствует, но отчетливо наблюдаются два кратных отражения от акустического фундамента. В данном случае можно было бы говорить о слабом коэффициенте отражения от дна озера. Однако, анализ амплитуд сигнала (Рис. 6) говорит о том, что амплитуда волны отраженной от дна схожа с амплитудой первой кратной волны. Первая кратная волна порождает 2 кратную волну на уровне шума, тем не менее, она хорошо различима на разрезе.

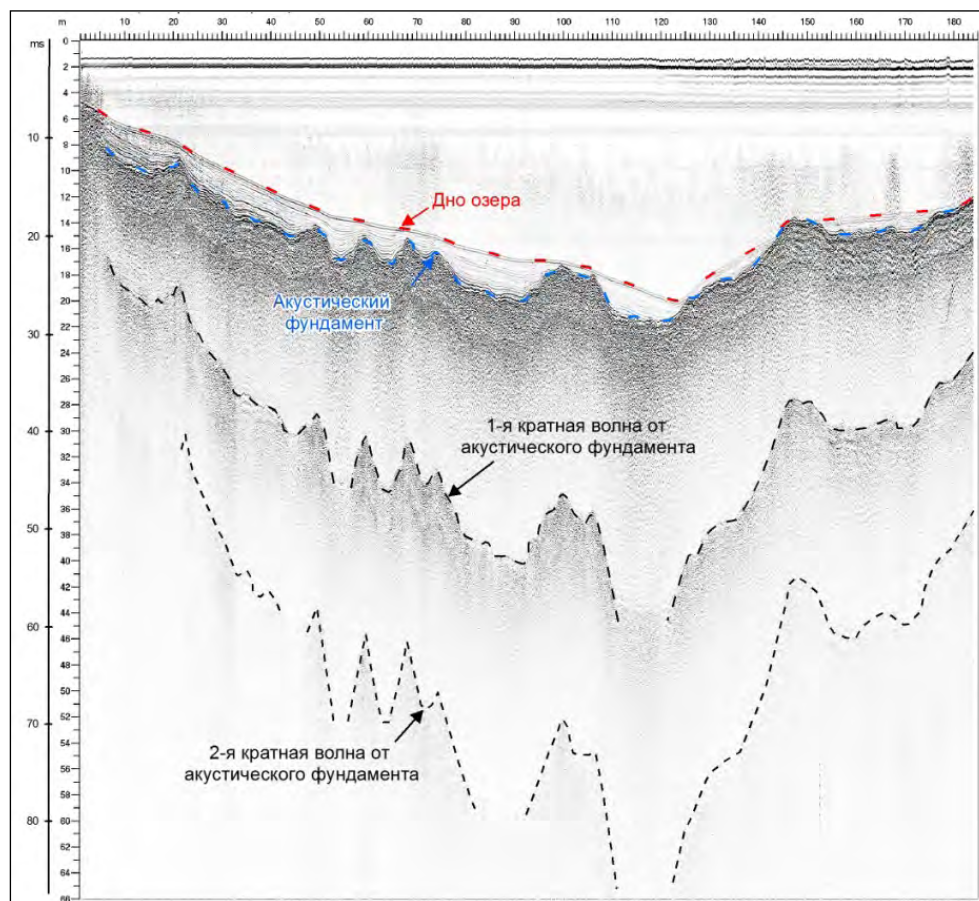


Рис. 5. На сейсмоакустическом профиле озера Тургояк наблюдаются 2 отчетливых кратных отражения.

Вероятно, как и в озере Балхаш, на разрезе проявляется скоротечный процесс изменения свойств отражающей границы под действием акустической волны на полужидкий, желеобразный осадок.

В литературных источниках рассматривается в основном поведение кратных волн в водном слое, однако, поведение волн в полужидком, желеобразном осадке также весьма интересно.

На основе ряда имеющихся наблюдений можно предположить, что данное явление относится к процессу тиксотропии. При механическом воздействии связи между частицами, образующими структуру геля, могут быть разрушены. Гель превращается в текучий золь, с последующим обратимым восстановлением связей, т.е. образованием нетекучего геля после прекращения воздействия [Фридрихсберг Д.А. 1974]. Если обратимое восстановление происходит очень быстро, то такой гель обладает мгновенной тиксотропией [Фролов Ю.Г. 1982]. Тиксотропия часто проявляется в природе. Так грунты, в обычных условиях

достаточно твердые, легко разжижаются при вибрации или ударах. Тиксотропными свойствами почвы объясняются, например, оползни. [Лукьянов А.Б. 1988 – 288].

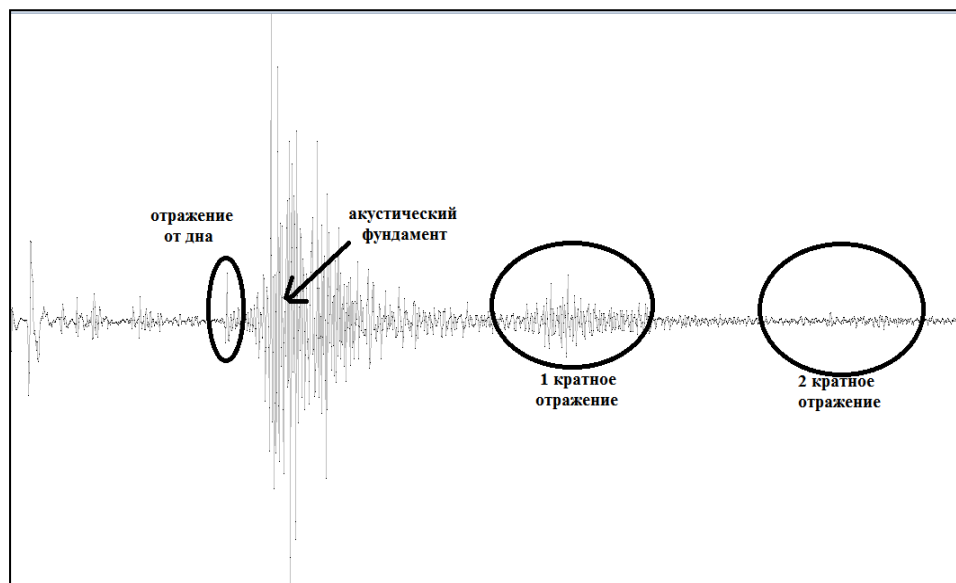


Рис. 6. Амплитуда сигнала (трасса 630), озеро Тургояк.

#### Список литературы

1. Шалаева Н.В., Старовойтов А.В. Основы сейсмоакустики на мелководных акваториях. Учебное пособие – М.: Изд-во МГУ, 2010. – 256 с.
2. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1984. - 368 с.
3. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы): учебник для вузов. – М.: Химия, 1982. - 400 с., ил.
4. Лукьянов А.Б. Физическая и коллоидная химия: Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Химия, 1988. – 288 с: ил

**Обеспечение экологической безопасности бурения скважин и разработки нефтяных месторождений на акватории на основе мониторинга микросейсмической эмиссии.**

**Игорь Алексеевич Чиркин<sup>1,2</sup>, Ахмед Радван<sup>1</sup>, Евгений Геннадьевич Ризанов<sup>2</sup>, Степан Валерьевич Каляшин<sup>1</sup>, Сергей Олегович Колигаев<sup>1</sup>, Анна Эркиновна Сиренко<sup>1,3</sup>**

(1) *Международный университет природы, общества и человека «Дубна», г. Дубна.*

(2) *ООО «Институт новых нефтегазовых технологий», г. Москва*

(3) *АО «НИИ «Атолл», г. Дубна*

## **1. Мониторинг микросейсмической эмиссии на акватории и его возможности**

Для изучения пространственно-временного (4D) распределения очагов МСЭ специалистами научной школы нефтегазовой сейсмоакустики профессора О.Л. Кузнецова создана инновационная сейсмическая технология «Сейсмолокация очагов эмиссии» (СЛОЭ) [1]. В настоящее время технологию СЛОЭ используют, в основном, для контроля техногенных воздействий и изучения флюидной структуры месторождений на суше, но подготовлен проект её применения и на акваториях для непрерывного и неограниченного во времени мониторинга МСЭ с целью решения широкого спектра задач, включая обсуждаемые экологические [2].

Для наблюдения волн МСЭ и сейсмического шума, в т. ч. для контроля бурения скважин (КБС), используют донную площадную систему, состоящую из одной или нескольких сейсмоакустических антенн с датчиками упругих колебаний (ЗС-геофонами и гидрофонами). Антенна имеет кольцеобразную форму (спираль, тор, окружность и др.), в которой относительно равномерно расположены датчики. Принципиальная схема локатора СЛОЭ представлена на рис.1.

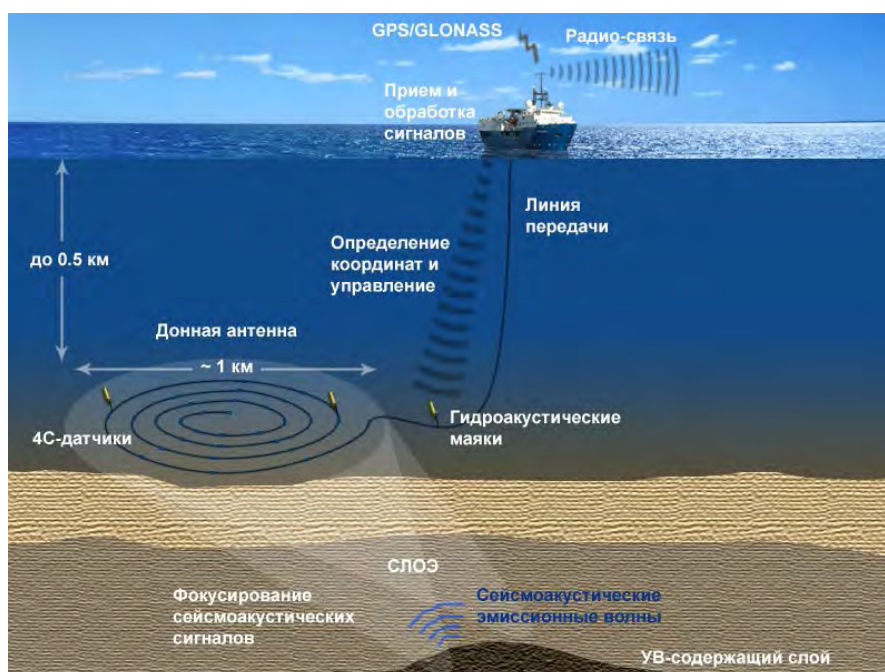


Рис. 1. Принципиальная схема наблюдения по технологии СЛОЭ на акватории.



Выделение волн МСЭ (в регистрируемом сейсмическом волновом поле) и позиционирование их источников осуществляют по принципу локатора пассивного типа, имеющего точечную характеристику направленности за счет фокусирующего обзора. Пример характеристики направленности в точке обзора геосреды для антенны с формой тора (три вложенные окружности) представлен на рис.2.

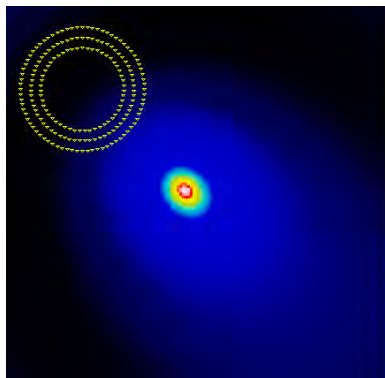


Рис. 2. Характеристика направленности апертуры приема в форме тора (три вложенные окружности), рассчитанная для одиночного импульса МСЭ с частотами 30-70 Гц.

Результатом обработки сейсмической информации является 4D-распределение значение энергии МСЭ в течение всего или отдельного периода времени наблюдения.

## 2. Прогноз аварийной ситуации бурения и испытания скважин

Проблема внезапного открытого фонтанирования скважины связана с заходом её ствола в зону аномально высокой открытой трещиноватости. При этом данная зона должна иметь субвертикальную структуру с глубокими корнями заложения (на несколько км). Этот критерий установлен в результате анализа многочисленных случаев аварийных ситуаций в скважинах (поглощение, фонтанирование с максимальным дебитом, в т. ч. открытого и др.) и характерных особенностей их местонахождения в поле трещиноватости геосреды. Типичные примеры вышеуказанных случаев представлены на рис. 3-5.

Первый пример (рис. 3) демонстрирует достоверность выполненного прогноза поглощения бурового раствора с прихватом инструмента в скважине 30 на Восточно-Песчаной площади (Оренбургская обл.). По результатам изучения открытой трещиноватости геосреды по технологии «Сейсмический локатор бокового обзора» (СЛБО) [3] было установлено, что находящаяся на площади исследования бурящаяся скважина 30 (с текущей глубиной забоя 4600 м и проектной – 5000 м), войдя в зону интенсивной трещиноватости на глубине 4900 м, может оказаться в аварийной ситуации из-за катастрофического поглощения бурового раствора. Данный прогноз полностью подтвердился через два месяца, когда скважина вошла в эту зону на глубине 4907 м. Поскольку заранее никакие дополнительные мероприятия (по предотвращению поглощения) не проводились, то начались аварийные прихваты инструмента и дальнейшее бурение скважины, с целью достижения проектной глубины, было остановлено.

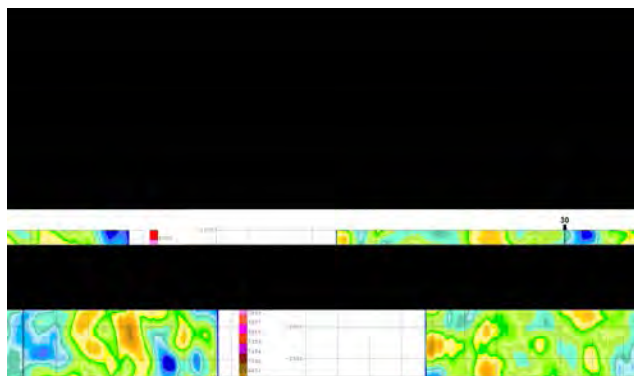


Рис. 3. Широтный разрез индекса трещиноватости через скважину 30 на Восточно-Песчаной площади, Оренбургской области. Цветом отображается индекс трещиноватости, красный соответствует максимальным значениям. Линии соответствуют отражающим горизонтам.

Второй пример (рис. 4) демонстрирует целенаправленное бурение скважины 219 (Куюмбинское месторождение, Восточная Сибирь) в субвертикальную зону интенсивной трещиноватости для получения максимального фонтанирующего притока нефти из продуктивной толщи рифейского возраста. Что и было получено по завершению бурения. При этом не было аварийных ситуаций, т. к. своевременно были выполнены мероприятия по безаварийному бурению в зоне трещиноватости.

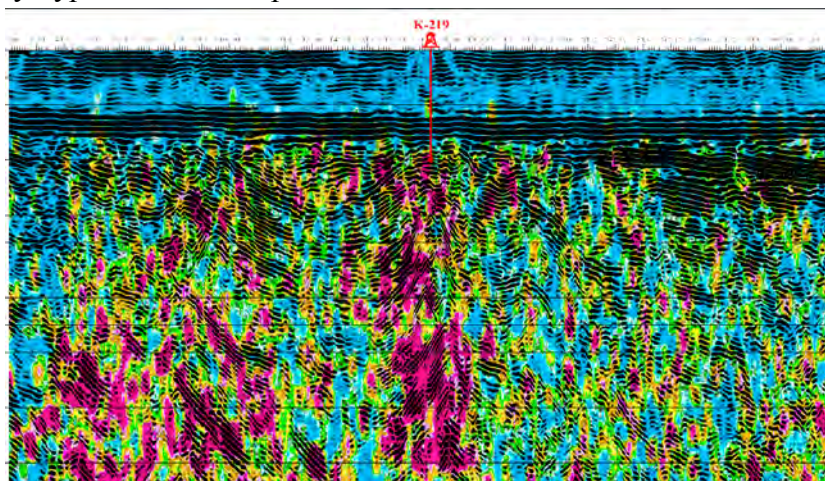


Рис. 4. Разрез поля трещиноватости (уровни серого) в сопоставлении с разрезом поля отраженных волн (черный) через скважину 219 на Куюмбинском месторождении, Восточная Сибирь.

Третий пример (рис. 5) соответствует неблагоприятному развитию событий, когда при испытании скважины 30 (Северо-Демьянское месторождение, Западная Сибирь) произошло открытое фонтанирование нефти с дебитом порядка 300 т/сут. Первопричина внезапного выброса заключалась в том, что забой скважины оказался в своде субвертикальной зоны интенсивной трещиноватости, имеющей глубокие корни заложения, и в процессе испытания (при создании депрессии на пласт) эта зона сообщила со скважиной по вновь образованным открытым трещинам, что привело к резкому увеличению давления на забое, значительно превышающего гидростатическое.



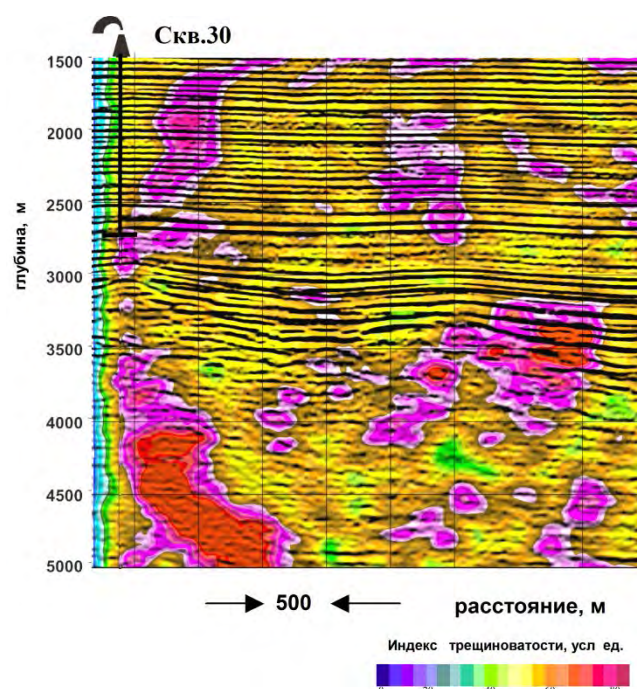


Рис. 5. Разрез поля трещиноватости в сопоставлении с полем отраженных волн на Северо-Демьянском месторождении, Западная Сибирь.

### Выводы

1. Предотвращение на акватории экологических катастроф, возникающих в результате внезапных выбросов нефти из скважин (при их бурении и испытании) или техногенных мелкофокусных землетрясений (при разработке месторождений), возможно за счёт:

- получения и анализа информации о 4D-поле открытой трещиноватости геосреды;
- выделения субвертикальных зон с аномально интенсивной трещиноватостью;
- оценки роста размеров и интенсивности этих зон во времени;
- контролируемой вибросейсмической разрядки очагов аномального напряженного состояния геосреды.

2. Учитывая эффективность использования технологии СЛОЭ для мониторинга МСЭ и достоверность полученной информации о 4D-поле трещиноватости для решения экологических задач на акватории, представляется целесообразным включить в комплекс обязательных работ исследования по технологии СЛОЭ на этапах проектирования бурения скважин и в процессе разработки месторождений.

В заключение следует дополнительно отметить, что непрерывный и неограниченный во времени СЛОЭ-мониторинг МСЭ и техногенных шумов в процессе разработки месторождения УВ-сырья позволяет решить широкий спектр задач (геологических, промысловых, технологических, экологических и др.) для увеличения полноты и темпа отбора УВ на месторождении при снижении эксплуатационных затрат и повышении экологической безопасности.

### Список литературы

1. О.Л. Кузнецов, И.А. Чиркин, Ю.А. Курьянов, С.И. Шлёнкин и др. Новые технологии и решение прикладных задач. – М.: ООО «Центр информационных технологий в

природопользовании», 2007. – 434 с.: ил. (Сейсмоакустика пористых и трещиноватых геологических сред: В 3 т. Т. 3).

2. О.Л. Кузнецов, С.Л. Арутюнов, Ю.А. Курьянов, И.А. Чиркин, О.А. Колигаев, С.О. Колигаев, С.А. Старожук. О применении стационарных донных сейсмоакустических систем в геофизических исследованиях и разработке нефтегазовых месторождений на шельфе // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Научное и техническое обеспечение исследований и освоения шельфа Северного Ледовитого океана», Новосибирск, 2010.

3. О.Л. Кузнецов, И.А. Чиркин, Ю.А. Курьянов, Г.В. Рогоцкий, В.П. Дыбленко. Экспериментальные исследования. – М.: Государственный научный центр Российской Федерации – ВНИИгеосистем, 2004. – 362 с.: ил. (Сейсмоакустика пористых и трещиноватых геологических сред: в 3 т. Т. 2).

## **Методика двухуровневых трехчастотных сейсмоакустических наблюдений на акваториях, контроля качества и экспресс обработки данных.**

**Токарев М.Ю.<sup>1</sup>, Бирюков Е.А.<sup>2</sup>, Иванова В.В.<sup>2</sup>, Исаенков Р.И.<sup>2</sup>,**

**Пирогова А.С.<sup>1</sup>, Понимаскин А.И.<sup>1</sup>, Токарев А.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ЦАСД МГУ, <sup>2</sup>ООО «Сплит»

### **Введение**

Методика двухуровневых трехчастотных сейсмоакустических наблюдений на акваториях, контроля качества и экспресс обработки данных.

Для работы на шельфе арктических морей, установки буровой платформы, выбора точек геологического пробоотбора, инженерных скважин, нефтегазовых скважин необходимы подробные сведения о строение верхней части разреза. Причем если для геологического пробоотбора нужно знать строение первых 5 м, то для бурения инженерных скважин выделять геологические опасности в диапазоне первых 50м, а для нефтяных скважин в первых 500м разреза. Отсюда вытекает необходимость проводить региональные инженерные исследования, получая при этом данные разной разрешающей способности и глубинности.

Таким образом, встает задача оптимизации методики многочастотных наблюдений, аппаратно-программного комплекса и алгоритмов контроля качества, получаемых данных.

### **Теория**

Нами была разработана методика двухуровневых трехчастотных наблюдений. Сейсмоакустическое профилирование выполняется в трехчастотном диапазоне:

- Параметрический профилограф (UHR)– центральные частоты записи 8 кГц и 100 кГц.
- Электроискровой источник «Спаркер» с регистрацией заглубленной 16-канальной косой (VHR)– центральная частота сигнала около 500 Гц.
- Акустический пневмоисточник «пушка» с регистрацией 96-канальной косой (HR)– центральная частота сигнала около 200 Гц.

Полный комплекс работ предполагает, что одновременно (за один проход судна) выполняется пять различных видов геофизических и гидрографических методов, а именно:

- батиметрическая съемка многолучевым эхолотом (МЛЭ);
- гидролокация бокового обзора (ГЛБО);
- непрерывное сейсмоакустическое профилирование в двухчастотном варианте (НСП);
- двумерная сейсмическая заглубленная съемка сверхвысокого разрешения (2D-ССР);
- двумерная сейсмическая съемка высокого разрешения (2D-СВР).

Так же осуществляется навигационное обеспечение всех видов работ.

Схема расположения всего геофизического, гидрографического и навигационного оборудования представлена на Рисунке 1

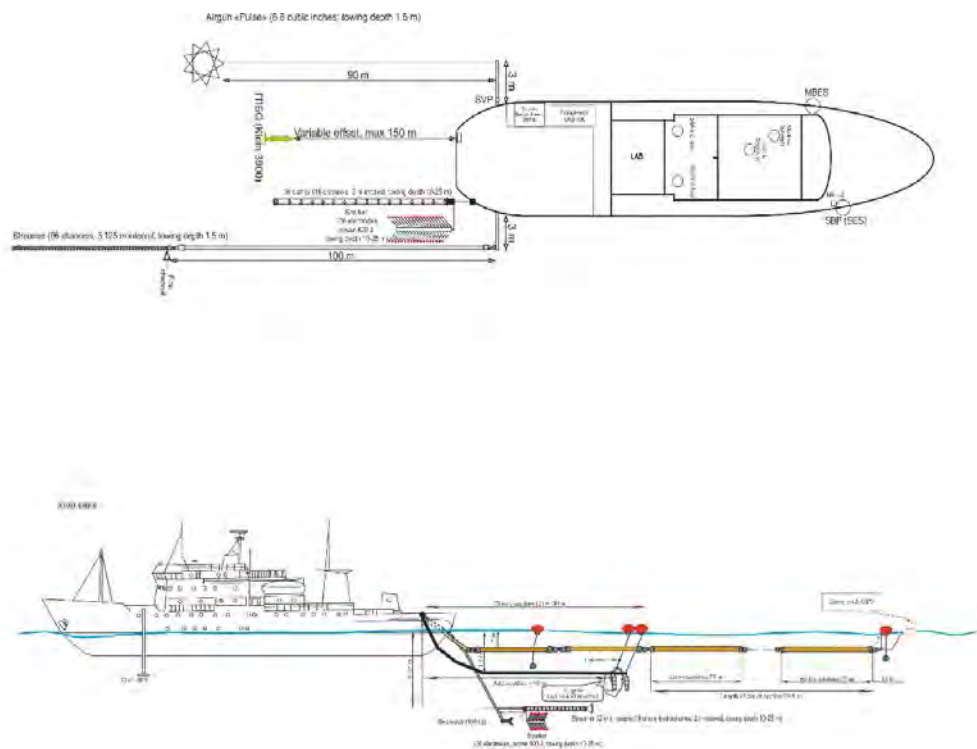


Рис. 1. Расположение геофизического оборудования на НИС.

Описанная многоуровневая система имеет ряд преимуществ перед стандартно применяемой в индустрии приповерхностной сейсмоакустической системой с одним сейсмическим источником, а именно:

1. Обеспечивает получение данных в различных частотных диапазонах; суммирование данных позволяет получить широкополосный набор данных с повышением отношения полезного сигнала к помехе на частотах, соответствующих полосе «перекрытия». Другими словами, повышается как глубинность исследования, так и временная разрешающая способность.

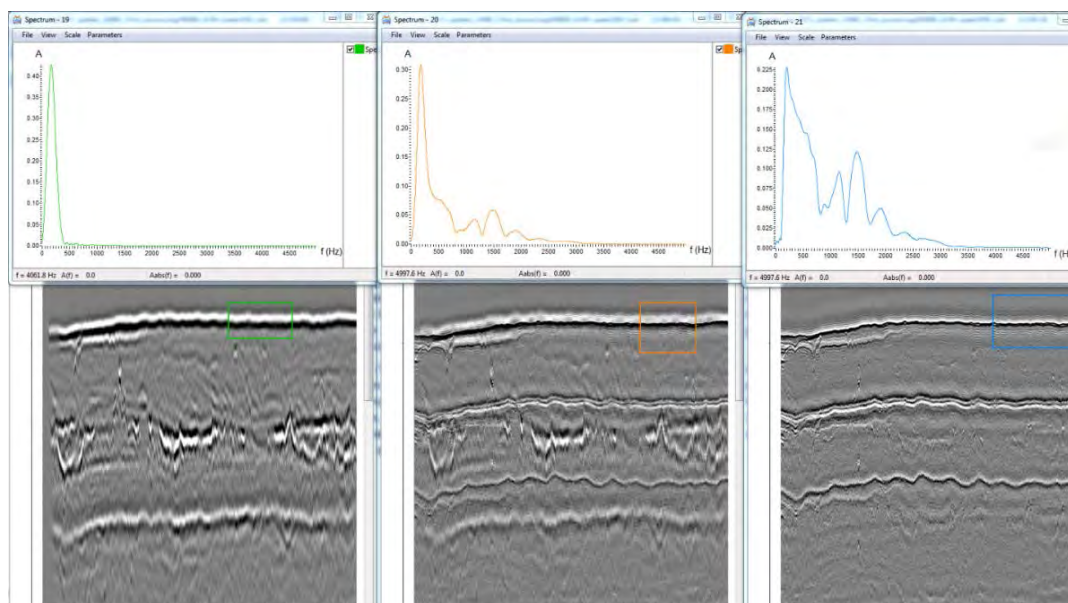


Рис. 2. Сейсмограммы равного удаления. Слева – приповерхностная система (пневмоисточник), справа – заглубленная буксировка (электроискровой источник), по центру – сумма данных приповерхностной и заглубленной систем.

Получение широкополосного набора данных позволяет рассматривать возможность применения инверсионных преобразований для определения геоакустических свойств изучаемой среды. Низкочастотная составляющая потенциально повышает устойчивость решения обратной задачи сейсморазведки (инверсии).

2. Комбинирование приповерхностной системы с заглубленной при проведении съемки обеспечивает дополнительную регистрацию волнового поля однократно отраженных волн без влияния свободной поверхности (поверхность граничащих сред вода-воздух). Форма зарегистрированного сигнала более стабильна по профилю, что обеспечивает высокое качество последующего динамического анализа. Более того, в случае заглубленной методики появляется возможность оценки реальной сигнатуры излучаемого импульса для каждой трассы профиля, что принципиально для успешного применения акустической и, в особенности, упругой инверсии.

3. В процессе работы длина записи составляла 800мс, что позволяла видеть отражения пушки (частота 200Гц) на заглубленной системе, а также отражения от заглубленного источника спаркер (250Гц) на приповерхностной. Таким образом, можно было видеть импульс пушки без интерференции с волной-спутником. Это открывало дополнительные возможности для контроля формы и стабильности сигнала пушки. Пример такой записи показан на Рисунке 3.

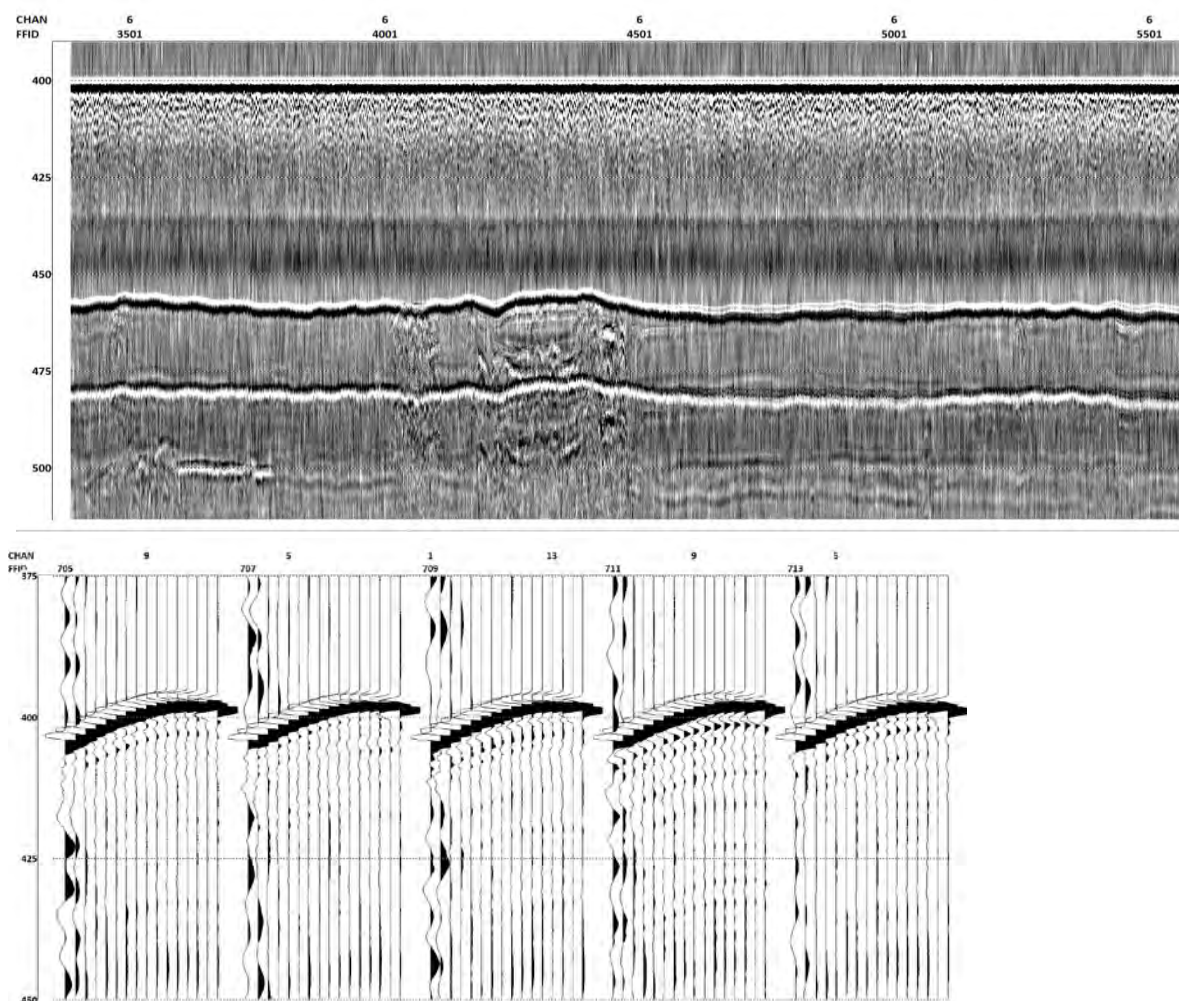


Рис. 3. Отражения от источника пушка на данных заглубленной косы.



Заглубленные системы эффективно используются для поиска геологических опасностей, например - для поиска осадков содержащих газогидраты (Charman 2002), Примеры подобных съемок приводятся в работах Bowles et al. (1991), Gettrust и Ross (1991), и Wood и Gettrust (2001). Однако, при работе методикой двухуровневой трехчастотной съемкой мы не только используем все преимущества заглубленной системы, мы дополняем ими результаты полученные с помощью приповерхностной косы, а также приобретаем возможность комплексной интерпретации данных полученных на различных частотах.

Методика была успешно испытана и опробована. В процессе разработки предварительно проводилась серия работ оптимизации методов работы отдельно с заглубленными и приповерхностными системами, результаты освещены в работах Tokarev M., Kuzub N., Pevzner R (2006), Tokarev M. et al .(2008).

Данной методикой были проведены региональные инженерные изыскания в море Лаптевых. Общий объем работ составил около 1500пог/км.

### Пример

Пример данных полученных с помощью методики показан на рисунке 4. При этом глубинность UHR составила 20м, разрешающая способность – 0,5 м (частота 8 кГц, 100кГц), глубинность VHR-100м, разрешающая способность – 1 м (частота 450-500Гц), глубинность HR – 500м, разрешающая способность 3 м (частота 200Гц).

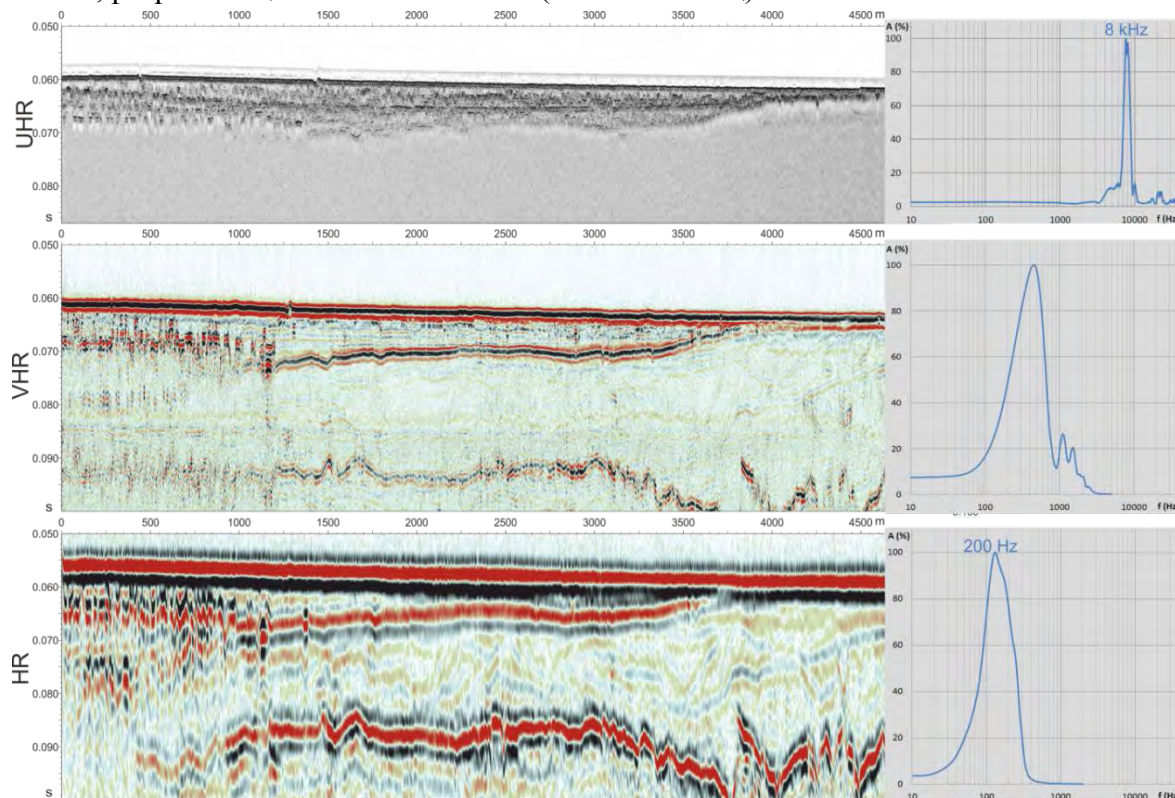


Рис. 4. Данные полученные двухуровневой трехчастотной методикой.

### Заключение

- Нами разработана, опробована и успешно применена уникальная методика двухуровневой трехчастотной съемки
- Создан алгоритм набортного контроля качества данных для работы с методикой двухуровневых трехчастотных наблюдений



- Качество данных открывает возможность эффективно применять метод динамической интерпретации данных, AVO анализ, проводить комплексную интерпретацию данных разной разрешенности и глубинности.

- Возможность проведения акустической инверсии и переход к акустическим свойствам.

- Возможность с большей эффективностью выделять геологические опасности и оценивать риски.

- Уже в процессе работ созданная методика контроля качества данных позволяет провести предварительную интерпретацию, выделять целевые объекты

### **Список литературы**

1. Bowles, F.A., Gettrust, J.F. and Rowe, M. [1991] Geological interpretations based on deep-tow single channel and multichannel seismic data from the Bermuda Rise. *Marine Geology*, 96, 279 - 293.

2. Chapman, R., R., Walia, J., Gettrust, W., Wood, D., Hannay, G. Spence, R. Hyndman, R. Macdonald, and A. Rosenberger [2002] High Resolution deep-towed multichannel seismic survey of deep sea gas hydrates off western Canada. *Geophysics*, 67, 1038-1047.

3. Gettrust, J.F., Ross, J.H., and Rowe, M.M. [1991] Development of a low frequency, deep-tow geoacoustic system. *Sea Technology*, 9, 23-32.

4. Tokarev M., Kuzub N., Pevzner R. Deep-towed high-resolution seismic system for investigation of the uppermost subbottom sediments at shallow waters. *EAGE Near Surface 2006*.

5. Tokarev M., Kuzub N., Pevzner R., Kalmykov D., Bouriak S. High resolution 2D deep-towed seismic system for shallow water investigation. *First break*, vol. 26, April 2008

6. Wood, W. T., and Gettrust J. E [2001] Deep-towed seismic investigations of methane hydrates, in *Natural Gas Hydrates: Occurrence, Distribution, and Dynamics*, C. K. Paull, and W. P. Dillon, Eds., AGU Monograph 124, 165-178

## **СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АКВАТОРИЯХ**

## **Программно-аппаратурный комплекс SplitMultiSeis.**

**Потемка Д.М., Бирюков Е.А., Иванова В.В., Исаенков Р.И., Токарев А.М.**

*ООО «СПЛИТ»*

В настоящее время в связи с активным освоением Арктического шельфа одним из актуальных направлений развития нефтегазовой отрасли является повышение безопасности строительства и эксплуатации морских добывающих комплексов. С точки зрения геологии угрозу безопасности представляют такие процессы и явления как: сейсмичность, оползни, тектонические нарушения, газонасыщенные пласты, находящиеся под высоким поровым давлением, газовые гидраты, многолетнемерзлые породы и многие другие. Причем зоной особого интереса для морского строительства является верхняя часть геологического разреза (как правило, до 100 м по грунту).

Для эффективного решения задач инженерно-геологических изысканий в первую очередь, для выявления и характеристики геологических опасностей необходимо получать данные высокого и сверхвысокого разрешения. Таким образом, необходима методика работ для получения таких данных и критерии оценки качества данных. Стоит заметить, что нельзя просто использовать методики стандартные для нефтяной сейсморазведки (10-100Гц), так как необходимо учитывать специфику работ на высоких частотах.

В данной статье мы рассказываем о наиболее важных требованиях, которым должны удовлетворять сейсмоакустические данные для успешного решения инженерных задач. В качестве примера будет рассмотрено, как эти требования учитывались при получении данных высокого и сверхвысокого разрешения с помощью системы двухуровневых трехчастотных наблюдений SplitMultiSeis.

Методика, реализованная с помощью программно-аппаратурного комплекса SplitMultiSeis разработана специально для эффективного решения задач инженерных изысканий, она состоит из поверхностных и заглубленных систем наблюдений с использованием разных типов источников, что позволяет оптимизировать процесс получения данных.

Сейсмоакустическое профилирование выполняется в трехчастотном диапазоне:

- Параметрический профилограф - Ультравысокоразрешающая сейсморазведка (СУВР , *eng. ultra high resolution seismic, UHR*) центральные частоты записи 8 кГц и 100 кГц.
- Электроискровой источник «Спаркер» с регистрацией заглубленной 16-канальной косой - Сверхвысокоразрешающая сейсморазведка (ССВР , *eng. very high resolution seismic, VHR*) центральная частота сигнала около 500 Гц.
- Акустический пневмоисточник «пушка» с регистрацией 96-канальной косой - Высокоразрешающая сейсморазведка (СВР, *eng. high resolution seismic, HR*) – центральная частота сигнала около 200 Гц.

Полный комплекс работ предполагает, что одновременно (за один проход судна) выполняется пять различных видов геофизических и гидрографических методов, а именно:

- батиметрическая съемка многолучевым эхолотом (МЛЭ);
- гидролокация бокового обзора (ГЛБО);
- непрерывное сейсмоакустическое профилирование в двухчастотном варианте (СУВР);
- сейсмическая заглубленная съемка сверхвысокого разрешения (ССВР);
- сейсмическая съемка высокого разрешения (СВР).

Так же осуществляется навигационное обеспечение всех видов работ.

Схема расположения всего геофизического, гидрографического и навигационного оборудования представлена на Рисунке 1

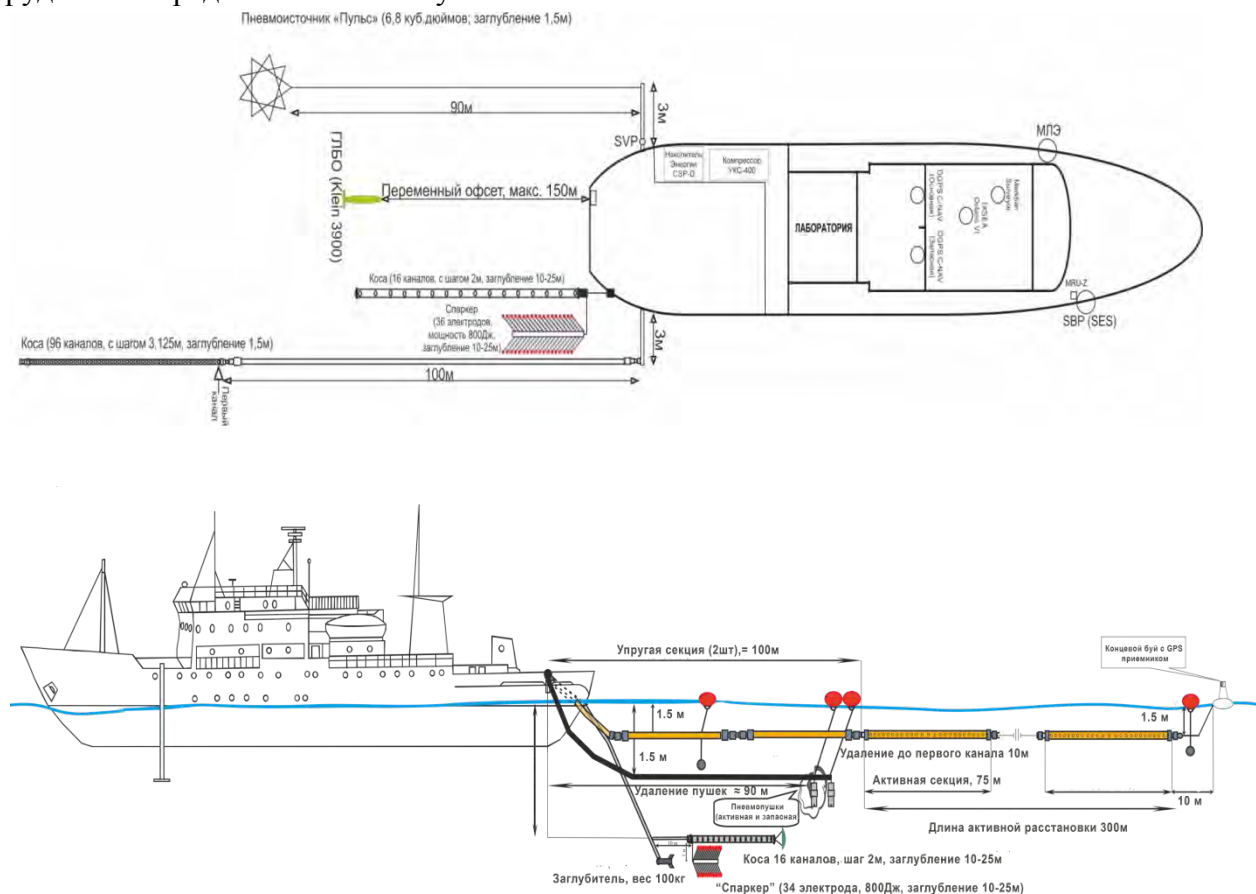


Рис. 1. Методика двухуровневых трехчастотных наблюдений, реализованная с помощью программно-аппаратурного комплекса SplitMultiSeis.

Данная методика была протестирована в условиях Белового моря, использовалась в производственных регионально-инженерных работах в море Лаптевых (получен 1501 погонный километр сейсмоакустических данных).

#### *Аппаратура сейсмической съемки сверхвысокого разрешения с заглубленной косой (ССВР)*

В табл. 1 приведены основные параметры используемой аппаратуры при проведении работ методикой ССВР. Аппаратура была подобрана таким образом, чтобы оптимизировать процесс работы, получать данные достаточного качества. Излучатель был сконструирован таким образом, чтобы влияние направленности для диапазона углов от 0 до 30 градусов и частот от 0 до 3 кГц не превышало 10%. Группирование каналов отсутствует, что обеспечивает диаграмму приема сигнала близкой к сферической.




#### *Аппаратура сейсмической съемки высокого разрешения (СВР)*

В табл. 2 приведены основные параметры используемой аппаратуры при проведении работ методикой СВР. Для уточнения положения линии приема, к концевой части был установлен буй с приемником GPS.

Таблица 1. Основные параметры аппаратуры, используемой при проведении работ методикой ССВР.

Устройство	Параметры	Иллюстрация
<p><b>Электроискровой источник Geodevice</b></p>	<p>Количество электродов: 36/10/5                      Расстояние между электродами: 2 см                      База группирования: 34 см</p>	
<p><b>Источник импульсного сигнала Geodevice</b></p>	<p>Энергия разряда: 800 Дж                      Емкость: 240 мкФ</p>	
<p><b>Регистрирующее устройство Split</b></p>	<p>Количество каналов: 16                      Шаг между каналами: 2 м                      Длина приемного устройства: 30 м                      Группирование каналов: отсутствует</p>	
<p><b>Сеймостанция Split</b></p>	<p>Параметры записи:                      Шаг дискретизации: 0.1 мс                      Время записи: 800 мс                      Разрядность АЦП: 14 бит</p>	

Таблица 2. Основные параметры аппаратуры, используемой при проведении работ методикой СВР.

Устройство	Параметры	Иллюстрация
<p><b>Пневмоисточник Пульс</b></p>	<p>Используемое рабочее давление: 140 атм                      Объем: 100 см<sup>3</sup>                      Интервал возбуждения: ~ 4м                      Центральная частота возбуждаемого сигнала: 250 Гц</p>	
<p><b>Регистрирующее устройство Си Технолоджи</b></p>	<p>Количество каналов: 96                      Шаг между каналами: 3.125 м                      Длина приемного устройства: 300 м                      Группирование каналов: прямоугольное, 4 приемника на базе 1.5 м</p>	
<p><b>Сейсмостанция Си Технолоджи</b></p>	<p>Параметры записи:                      Шаг дискретизации: 0.25 мс                      Время записи: 1500 мс                      Разрядность АЦП: 24 бита</p>	



## Обработка изображений при интерпретации данных гидролокации.

Марченко А.Л., Смирнова К.П.

МГУ им. М.В. Ломоносова, МГУДТ

### Постановка задачи

Битовая карта (bitmap) – матрица, хранящая значения элементов изображения (пикселей).

Графическим объектом или артефактом называется связанное множество пикселей одного цвета на бинаризованном изображении, размещённых на битовой карте. Положение каждого пикселя артефакта однозначно описывается парой координат (X,Y).

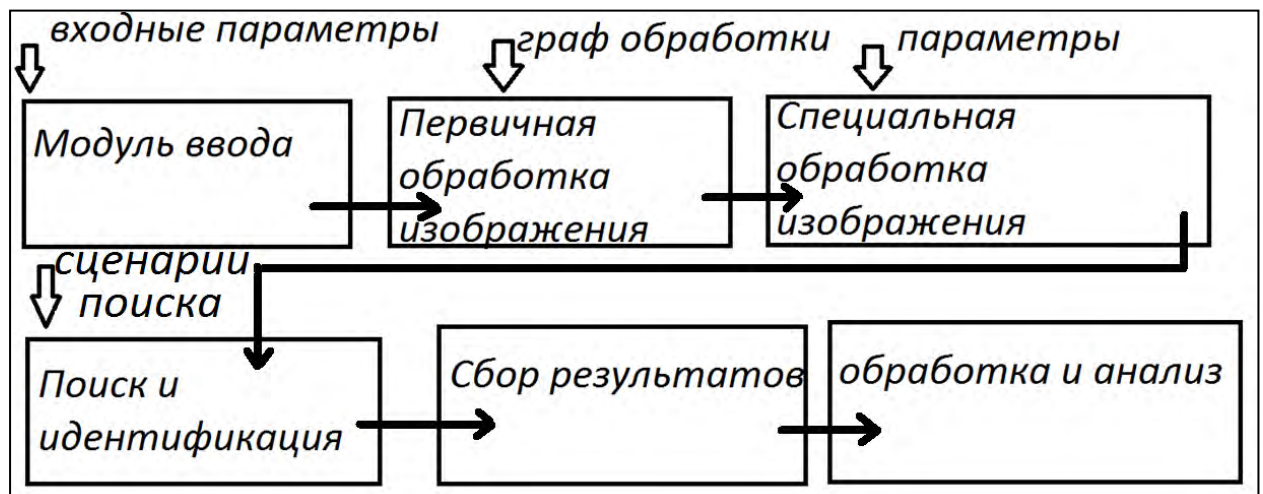
Основной задачей представляемой работы является разработка и реализация алгоритмов обработки изображения для интерпретации данных гидролокации [1]. Разрабатываемое приложение реализует основные алгоритмы первичной обработки изображения, методы локализации графических объектов и их идентификацию разнообразными способами по различным критериям. Приложение обеспечивает следующие возможности:

- выделение множества графических объектов на изображении, представленном гидролокатором;
- классификацию и идентификацию объектов по метрическим признакам (площади, периметру и их соотношению - позволяет выделять протяжённые объекты);
- идентификацию объектов по специальным признакам (степень совпадения с шаблоном, критерий регулярности).

### Структура приложения

Приложение включает множество классов, реализующих методы первичной обработки изображения. В том числе, методы сегментирования изображения, варианты матричной фильтрации (гауссово размытие, градиентные фильтры для выделения границ изображения), общие морфологические операции, методы скелетизации графических объектов на основе алгоритма Зонга-Суня [2,3,4], оптимизации скелета и формирования критериев идентификации объектов. Методы индексации графических объектов, поисковые операции, пакетную обработку изображения с морфологической фильтрацией и построением матриц объектов, их периметров и скелетов.

### Архитектура приложения

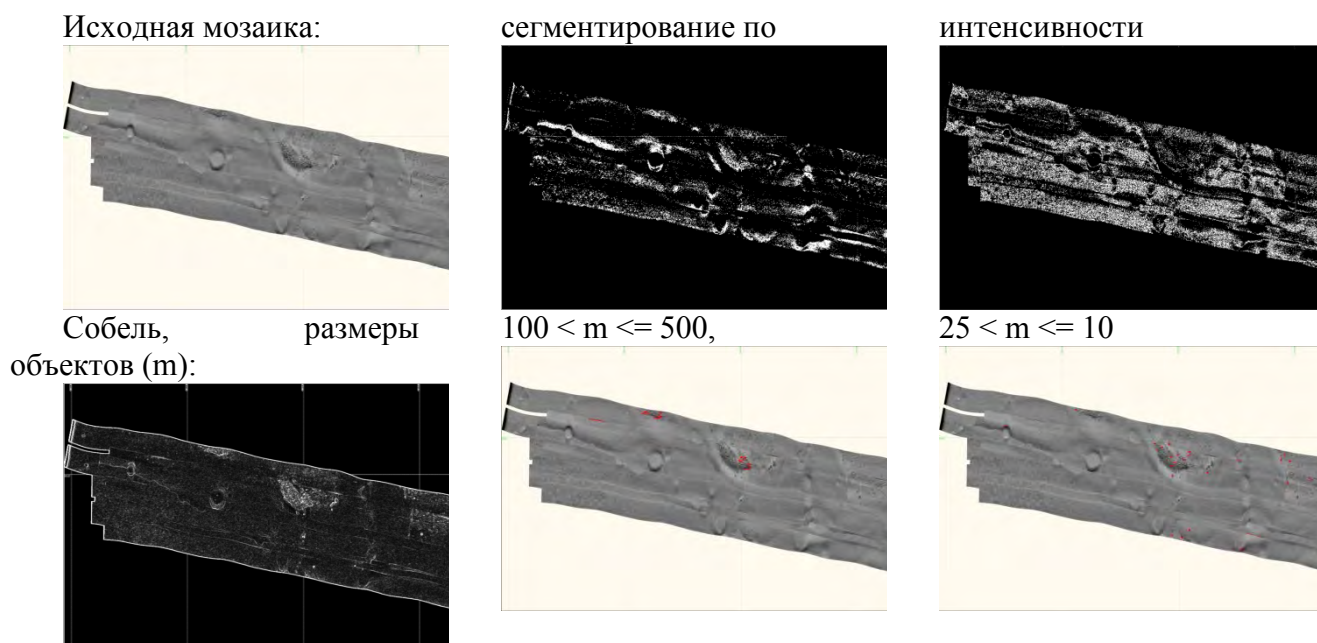


Предполагается проведение поиска и идентификации графических объектов в режиме реального времени и в режиме постобработки данных с различными вариантами реакции на результаты поиска и идентификации, записью результатов поиска и идентификации в базу данных с периодической обработкой статистической информации и формированием отчётов.

Описание функциональности приложения

Приложение обеспечивает предварительную обработку акустического изображения, которая предполагает фрагментацию потока изображения, при котором изображение "разрезается" на прямоугольные фрагменты – матрицы растрового изображения (возможно) сохраняемые в виде отдельных файлов. При фрагментации потока устанавливается соответствие между фрагментами и значениями параметров дополнительной информации (данными GPS, данными датчиков курса, крен-дифферента, уровня поверхности воды). Фрагменты потокового изображения подвергаются первичной обработке, сценарий обработки представляет собой скрипт, с помощью которого определяются конкретные действия над матрицами растрового изображения и соответствующие параметры обработки. Далее предполагается специальная обработка бинаризованного изображения, которая обеспечивает сегментирование и индексирование объектов, фильтрацию объектов по морфологическим признакам, задание параметров индексации сегментированных объектов, задание правил установления соответствия координат, выделенных на матрице изображения объектов со значениями параметров дополнительной информации (GPS и т.п.). Сценарии поиска и идентификации графических объектов задаются с помощью скриптов, сбор информации и обработка результатов обеспечиваются интерфейсами с базами данных, процедурами сбора и обработки статистики, формирования отчётов.

Декомпозиция фрагмента гидрограммы по интенсивности и размеру (m) объектов

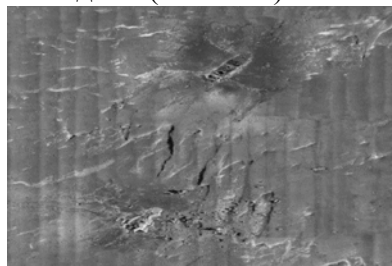


Алгоритмы идентификации

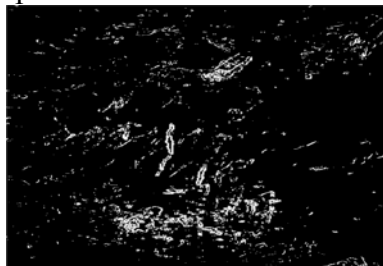
К настоящему моменту в приложении реализованы следующие алгоритмы идентификации объектов:

- дискретная идентификация выделенного объекта по масштабируемому шаблону. Условие применения: возможность выделения из анализируемого изображения фрагментов, которые можно идентифицировать как графические объекты. Для идентификации требуется бинаризованный шаблон, размеры которого не имеют значения. В ходе идентификации шаблон масштабируется в соответствии с размерами выделенного объекта, предъявляемого для идентификации. Критерием соответствия выделенного объекта предъявляемому шаблону является величина, равная соотношению количества совпавших и не совпавших белых и чёрных пикселей на шаблоне и выделенном объекте.

Исходное (Титаник)



Бинаризованное изображение



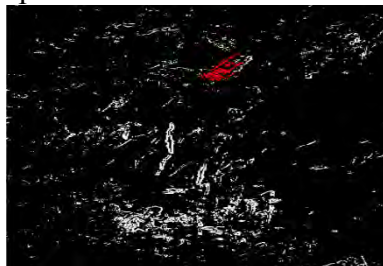
Выделено объектов



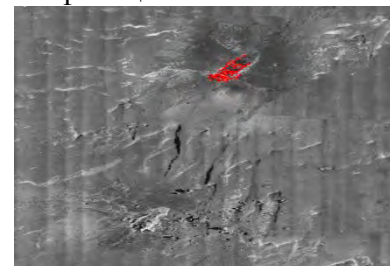
Шаблон



"распознано" объектов: 1



Результат идентификации

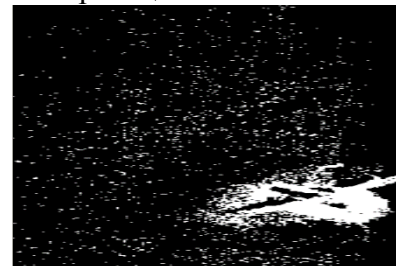


- "бегущая" идентификация объектов изображения по масштабируемому шаблону. Предполагает бинаризацию исходного изображения и задание поискового шаблона. Применяется в случае, если НЕ удаётся выделить фрагменты изображения, которые можно было бы идентифицировать как графические объекты. Для "бегущей" идентификации задаётся шаблон с фиксированными начальными размерами, коэффициент масштабирования ( $m$ ) и количество итераций применения масштабируемого шаблона ( $i$ ). Далее определяется шаг пропорционального масштабирования шаблона, после чего производится  $i$  сканирований всей картинки масштабируемым шаблоном.

Исходное (A20)



Бинаризация



Шаблон



Бинаризация шаблона

Идентификация,  $m = 1$ ,  $i =$

Результат идентификации

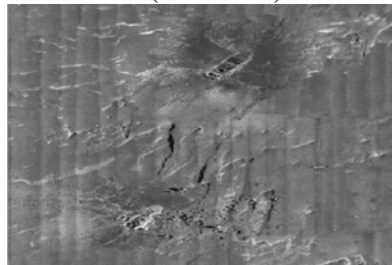
1



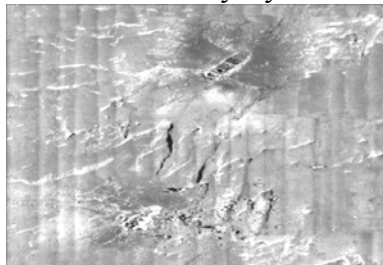


▪ идентификация на основе критерия регулярности. Понятие критерия регулярности графического объекта сформулировано на основании простого и интуитивно понятного отличия изображений объектов искусственного происхождения (за исключением летающих тарелок) от изображений всех прочих объектов: как правило, их изображения содержат значительное количество прямых линий. Реализованные в приложении операции скелетизации, нормализации скелета графического объекта и его последующего анализа позволяют определять критерий регулярности выделенных графических объектов.

Исходное (Титаник)



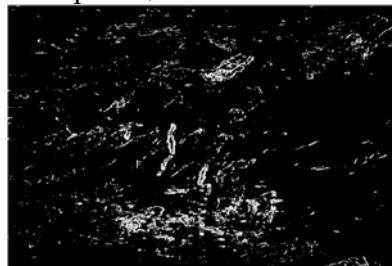
Размытие по Гауссу



Фильтр Собеля



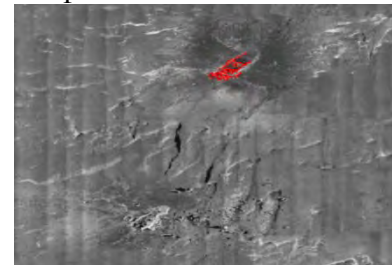
Бинаризация



"распознано" объектов: 1



Результат  
идентификации



## Заключение

В результате проделанной работы разработаны и реализованы методы обработки изображений из потока данных гидролокации, реализованы процедуры поиска и идентификации артефактов на основе критериев совпадения с различными видами шаблонов и критерия регулярности, который позволяет выделять объекты предположительно техногенного происхождения. Предполагается расширение и совершенствование критериев идентификации графических объектов, разработка процедур автоматической генерации шаблонов распознавания, процедур сбора и обработки статистической информации, что должно расширить возможности данного приложения по идентификации объектов.

## Список литературы

1. Скняря А.В. Гидролокация. Учебное пособие. – Издательство Московского университета, 2010.

2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Техносфера, Москва 2005
3. Тропченко А.Ю. Методы вторичной обработки изображений и распознавания объектов. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2012.
4. Рогов А.А., Рогова К.А., Кириков П.В., Быстров М.Ю. Некоторые методы классификации и поиска в электронной коллекции графических документов. – Труды 12й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2010, Казань, Россия, 2010

## **Некоторые результаты математической обработки данных морской магнитной съемки, проведенной в Баренцевоморском регионе, повышающие точность измерений.**

**Харитонов Андрей Леонидович**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова Российской Академии наук, г. Москва*

В районе Баренцева моря организацией «Севморгео» были проведены измерения так называемого «курсового градиента» модуля полного вектора индукции магнитного поля  $\text{grad}(B)$ . Морская градиентометрия, или строго говоря, морская дифференциальная магнитометрия (ДМ) с буксируемым на разных расстояниях от судна магнитометрами использует частный дифференциал измеряемого поля  $(\partial B/\partial r)$ , зависящий от пространственных координат. При выполнении морской съемки курсового градиента магнитного поля, в Баренцевом море, как и в любых съемках курсового градиента, возникали различные проблемы, приводящие к дополнительным погрешностям съемки: 1) отсутствие жесткой базы между буксируемыми магнитометрами (желательно было бы иметь один кабель или жесткую сцепку на два последовательно буксируемых магнитометра), 2) отсутствие датчиков глубины у буксируемых магнитометров, так как переменная разность глубин магнитометров дает дополнительные погрешности съемки, 3) наличие модульных ( $B$ ), а не компонентных (векторных) магнитометров, 4) отсутствие датчиков магнитного поля высокой чувствительности не менее  $\varepsilon = 0.01$  (нТл/м), 5) отсутствие немагнитных судов-буксировщиков, для уменьшения девиационных помех, 6) проблемы выбора направлений съемки курсового градиента, 7) необходимость эмпирического подбора пространственной базы градиентометра.

Для устранения хотя бы каких-то из этих проблем можно применить некоторые теоретически полученные формулы. В частности, выбор пространственной базы ( $\Delta r$ ) градиентометрической съемки (ДМ) можно производить теоретически, исходя из предполагаемой глубины залегания и горизонтальных размеров искомого магнитных объектов. Например,

$$(dB/dr) = \lim(\Delta r > 0) [(B_r - B_{r+\Delta r})/\Delta r], \quad (1)$$

где  $\Delta r$  – горизонтальное базовое расстояние между датчиками магнитометров, т.е. база градиентометра, которая должна стремиться к нулю. В реальных условиях Баренцева моря, база градиентометра ( $\Delta r$ ) дифференциальным методом (ДМ), выбиралась равной (1/10) предполагаемого горизонтального размера искомого магнитовозмущающего объекта ( $r$ ), а базу по глубине равную (1/10) от глубины его залегания. Однако, когда поиск магнитных объектов идет на больших глубинах и следовательно база градиентометра, исходя из этого выражения должна быть достаточно большой, можно воспользоваться методом ПВМГ. Кроме того, в морских условиях мы обычно имеем возможность сравнивать результаты обоих методов: ДМ и ПВМГ. Неоднородности поля вариаций и девиация судна являются для ДМ источниками погрешностей. Есть основания полагать, что ПВМГ свободен от такого рода погрешностей (Харитонов и др., 2005).



Пространственно-временная магнитная градиентометрия (ПВМГ) использует частный дифференциал ( $\partial B/\partial t$ ), зависящий от времени (Фонарев, 2005; Fonarev, 2005). Суть метода ПВМГ заключается в выборе виртуальной временной измерительной базы  $\Delta t = V * \Delta r$ , где  $V$  – скорость движения магнитометра,  $\Delta r$  – отрезок пути или виртуальная пространственная измерительная база. Необходимо, чтобы за время  $\Delta t$  одно из приращений  $\Delta B_a$  или  $\Delta B_v$  было меньше чувствительности магнитометра ( $\varepsilon$ ),  $\Delta B_a$  и  $\Delta B_v$  – соответственно одна из компонент аномального магнитного поля в движущейся системе координат и магнитная вариация. Дифференциальная кривая состоит из разностей в показаниях магнитометра через промежутки времени, равные виртуальной измерительной базе  $\Delta t$ . Тогда  $\Delta B_a$  или  $\Delta B_v$  будет отсутствовать на дифференциальной кривой. При  $\omega * \Delta t \ll T$ ,  $\Delta B_a$  и  $\Delta B_v$  будут меньше  $\varepsilon$ , когда  $\Delta t_v < \varepsilon / (\omega_v * \Delta B_v)$  и  $\Delta t_a < \varepsilon / (k_a * \Delta B_a)$  где,  $\omega_v = (2 * \pi / T)$  - круговая частота,  $T$  - период. Магнитные вариации и аномальные магнитные поля, разделяются когда  $k_a * B_a = \omega_v * B_v$ . Рабочий интервал ПВМГ лежит между  $\Delta t_a$  и  $\Delta t_v$ , ПВМГ позволяет проводить градиентные измерения в тех областях, где традиционные градиентные измерения - (ДМ) всегда считались трудно выполнимыми (спутниковые и аэромагнитные съемки). В методе ПВМГ предполагается, что измеренное геомагнитное поле ( $B_u$ ) можно рассматривать как сумму векторов модуля индукции нескольких магнитных полей

$$B_u(\varphi, \lambda, h) = B_z(\varphi, \lambda, h) + B_a(\varphi, \lambda, h) + B_v(\varphi, \lambda, h), \quad (2)$$

где  $B_z$  – модуль вектора индукции главного геомагнитного поля, обусловленный источниками в ядре Земли (так называемое постоянное магнитное поле Земли);  $B_a$  – модуль вектора индукции геомагнитного поля, обусловленный неоднородностями литосферы;  $B_v$  – модуль вектора индукции переменного геомагнитного поля, обусловленный источниками внешнего ионосферно-магнитосферного происхождения. Это поле также часто называют переменным электромагнитным полем Земли.

Кроме того, определение интервалов времени  $\Delta t_v$  и  $\Delta t_a$  – так называемую временную базу съемки методом (ПВМГ) и вероятно (ДМ), можно определить согласно (Фонарев, 2005) из условия при котором приращения разности двух значений измеренного геомагнитного поля по данным морской съемки  $\Delta B_a$  или вариаций переменного поля  $\Delta B_v$  будут меньше чувствительности магнитометра ( $\varepsilon$ ), установленного в буксируемом контейнере за бортом корабля, можно определить из формулы.

$$\Delta B_a = B_a(t_1) - B_a(t_2) \quad (3)$$

$$\Delta B_v = B_v(t_1) - B_v(t_2) \quad (4)$$

$$\Delta t_v < \varepsilon / (\omega_v * \Delta B_v), \quad (5)$$

$$\Delta t_a < \varepsilon / (k_a * \Delta B_a), \quad (6)$$

где  $\omega_v = (2 * \pi / T_v)$  – характерная круговая частота вариаций магнитного поля.,  $k_a = (2 * \pi / T_a)$  – волновое число типичных аномалий измеряемого магнитного поля от искомым магнитных объектов.

Эти неравенства определяют рабочие интервалы любого дифференциального метода обработки данных (ПВМГ и ДМ). Известно, что чувствительность ( $\varepsilon$ ) магнитометра, буксируемого за бортом корабля составляет примерно 0.1 нТл. Известно также, что

амплитуда суточных вариаций невозмущенного переменного магнитного поля в средних и нижних широтах составляет около  $\Delta B_v = 30$  (нТл) и тогда на основании вышеперечисленных данных легко вычислить значения величин  $\Delta t_a$  и  $\Delta t_v$ .

Однако, существует одно ограничение данного метода ПВМГ, когда невозможно разделить вариации переменного геомагнитного поля, вызываемые источниками внешнего ионосферно-магнитосферного происхождения и измеряемыми с корабля аномалиями постоянного поля от магнитных источников в земной коре.

$$k_a * \Delta B_a = \omega_v * \Delta B_v \quad (7)$$

Правая и левая часть этого соотношения не должны быть равны.

Измерительная горизонтальная база ( $\Delta r$ ) дифференциального метода (ДМ) для магнитометра движущегося со скоростью  $V$  будет определяться из следующей формулы

$$\Delta r = V * \Delta t_a = 2.5(\text{м/сек}) * N(\text{сек}) = V * N(\text{м}), \quad (8)$$

где  $V$  – скорость движения корабля во время съемки в Баренцевом море, в среднем была 2.5(м/сек).

Горизонтальные размеры ( $r$ ) характерных магнитных аномалий по данным профилей 1 и 2 в Баренцевом море составляли около 5000 м. Тогда временной период ( $T$ ) будет составлять около 200 сек.

$$T = r/V = 5000/2.5 = 200 \text{ (сек)} \quad (9)$$

Аналогичные расчеты, выполненные ИОРАН на Каспийском море во время низкой магнитной активности показали, что дифференциальные и интегральные кривые при использовании методов ДМ и ПВМГ практически идентичны. Отфильтрованная магнитная вариация имеет отклонения от прямой линии порядка 10-15 нТл. Такие отклонения в суточном ходе типичны для широт Северного Каспия (Фонарев и др., 2007). После этого не составляет труда выделение аномалий магнитного поля внутриземного происхождения в Баренцевом море, методам ПВМГ. Удалить из рассмотрения суточные магнитные вариации с помощью ПВМГ сравнительно просто, так как известен период и приближительная их амплитуда на разных широтах (рис. 1).

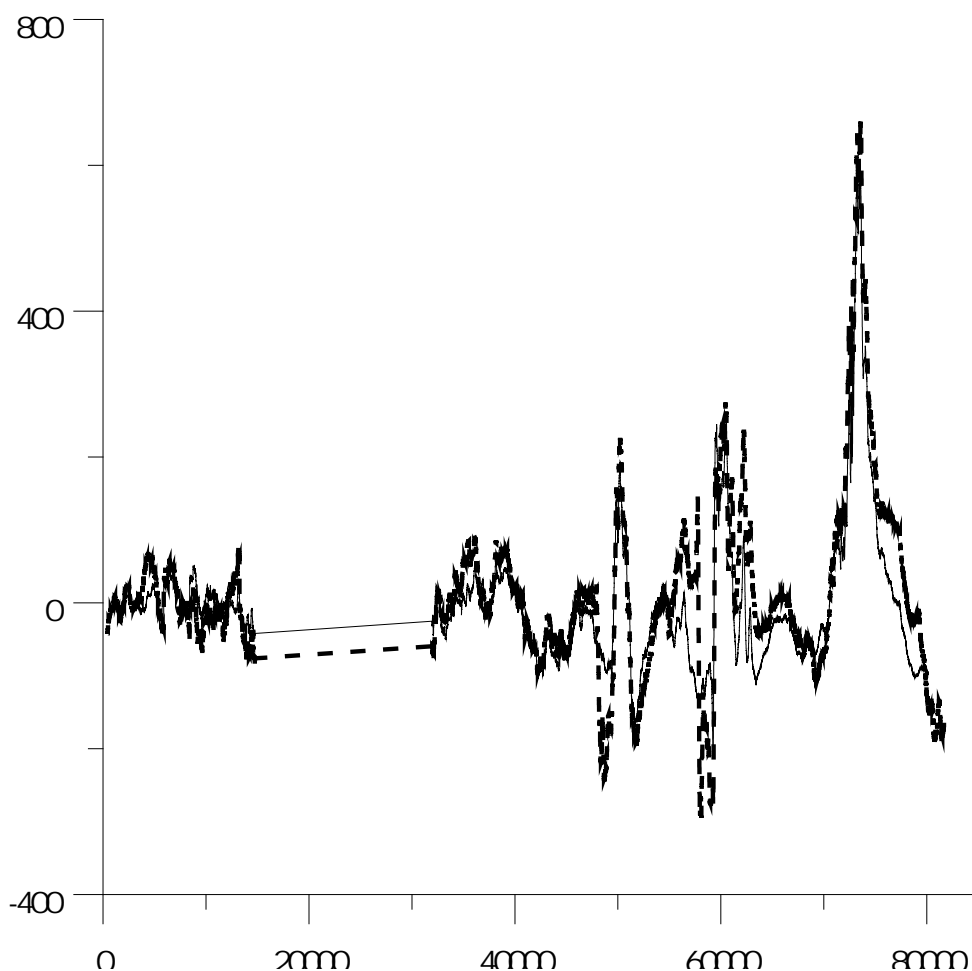


Рис. 1. (1 - пунктир) - аномальное магнитное поле, как разность между значениями, полученными по методу ПВМГ, по массиву измеренных данных line 1+2 в Баренцевом море и вариациями переменного магнитного поля обсерватории Лавозеро (новый метод), (2 – сплошная линия) - аномальное магнитное поле, как разность между (измеренным полем line 1+2 в Баренцевом море за вычетом нормального поля) и вариациями переменного поля магнитной обсерватории Лавозеро (традиционный метод).

Горизонтальная ось - время магнитной съемки в секундах, вертикальная ось – амплитуда аномального магнитного поля внутриземного происхождения в нанотеслах.

Раньше для этого использовался косвенный метод, который был основан на анализе невязок в точках пересечения при площадной магнитной съемке (Гордин и др., 1986). Таким образом, ПВМГ служит альтернативой косвенных методов без необходимости площадных измерений. Выделение магнитных аномалий двумя разными градиентометрическими способами повышает доверие к результатам проводимой геофизической интерпретации.

### Список литературы

Гордин В.М., Розе Е.Н., Углов Б.Д. Морская магнитометрия. М. Недра. 1986. 232.  
 Фонарев Г.А. Градиентные измерения с движущимся магнитометром. Геомагнетизм и аэронавигация. Т. 45. № 4. 2005. 576-578.  
 Fonarev G.A. Gradient Measurements with Moving Magnetometer. Geomagnetism and Aeronomy. V. 45. N.4. 2005. 543-545.

Фонарев Г.А., Иваненко А.Н., Харитонов А.Л., Гайдаш С.П. Пространственно-временная магнитометрия. 17 Международная научная конференция по морской геологии. «Геология морей и океанов». 2007. 183-184.

Харитонов А.Л., Фонарев Г.А., Эпельбаум Л., Кица П.В. Использование дифференциальной магнитометрии для разделения полей на спутниках // Материалы Всероссийской конференции “Экспериментальные и теоретические исследования основ прогнозирования гелиогеофизической активности”. Троицк. 2005. 335-340.

**Оценивание геоакустических параметров слоев дна морского шельфа с помощью зондирования когерентными сейсмоакустическими импульсами.**

**Калинина Вера Игоревна, Смирнов Иван Паисьевич, Хилько Александр Иванович**

*Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики РАН»*

*603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, E-mail: a.khil@hydro.appl.sci-nnov.ru*

*Разработаны методы и алгоритмы реконструкции геоакустических параметров донных слоев с использованием многопараметрических моделей формирования сигналов, отраженных от упругого слоистого полупространства при когерентном зондировании дна морского шельфа. Предложен метод послойной реконструкции, позволяющий осуществлять эффективный поиск решения в многопараметрическом пространстве при ограничении априорных данных. Методами стохастического моделирования исследована робастность алгоритмов реконструкции в зависимости от уровня шумов и помех.*

Использование когерентных сейсмоакустического (СА) источников, имеющих относительно малую мощность излучения, позволяет, достигнуть необходимой эффективности СА зондирования морского дна с учетом выполнения экологических требований [1,2]. Оцениваемыми параметрами отраженных от донных слоев сжатых и отфильтрованных импульсов являются их толщина, плотность, скорость продольных и поперечных волн, а также декремент затухания. Рассеяние зондирующих импульсов случайными неоднородностями донной поверхности и границ слоев – является причиной формирования реверберационной помехи. Кроме того, буксирующее судно является источником акустических шумов, которые совместно с реверберационными шумами формируют помехи, мешающие реконструкции параметров дна. Реконструкция строения морского дна, в общем случае некорректная обратная задача, может быть сведена к оценке значений параметров донных слоев методом статистической проверки гипотез, в качестве которых выступает модель слоистого пространства [2].

Как показывают результаты экспериментов, наблюдаемые при СА зондировании морского дна помехи, могут иметь статистические распределения с «тяжелыми крыльями», что ведет к ужесточению требований при оценке параметров донных слоев с заданной достоверностью. Из приведенных данных следует, что при использовании зондирующих сейсмоакустических сигналов в различных частотных диапазонах, оценка положения слоев может быть более достоверной, при использовании решающих статистик, оптимизированных к статистическим распределениям соответствующих шумовых компонент. В частности, для шумов с нормальным распределением, в качестве статистик могут быть использованы  $L_p$ -нормы со значением параметра  $p$  равным двойке. Значение параметра  $p$  выбирается единицей, для шумовых помех со статистическими распределениями с «тяжелыми крыльями» [1-3]. При реконструкции малоконтрастных слоев, а также слоев, расположенных на достаточно больших глубинах, сигнал от которых слаб, эффективным методом оценки глубины слоя является использование решающих статистик на основе нейроноподобной среды со свободной динамикой и контекстно-зависимыми параметрами [3]. Использование такого рода решающих статистик позволяет обеспечить заданную достоверность оценок глубины слоя при наблюдении сигналов, уровень которых на 5-10 дБ меньше уровня, который требуется при той же достоверности, но при использовании классической согласованной фильтрации (корреляционного метода).

Эффективность реконструкции глубин расположения донных слоев определяется также и адекватностью модели формирования полезных сигналов, которая должна быть построена с использованием априорных данных о структуре донных слоев. Адекватность используемой модели может обеспечить регуляризацию задачи, и требуемую робастность алгоритма оценивания. Морфологические модели дна, обычно представляются в виде совокупности  $n$  упругих слоев. При увеличении числа необходимых слоев, число наблюдаемых параметров быстро возрастает. При этом, поскольку при пересечении каждой из границ упругого слоя возникают две упругие волны – продольная и поперечная, число импульсов, отраженных от слоистого полупространства будет равно  $k = 1 + \sum_{i=1}^n 4^i$ , то есть, например, при модели из десяти слоев, полное число импульсов приближается к  $10^6$ . Для преодоления такого рода трудностей необходимо использовать упрощенные модели, в которых учитываются только энергонасыщенные компоненты поля, несущие необходимую информацию и которые при этом могут быть измерены с требуемой достоверностью. Такая модель будет выполнять, фактически, процедуру регуляризации, отбрасывая в измеряемом поле все, что не может быть достоверно измерено.

В рамках настоящего исследования для вычисления отраженных акустических полей в практических задачах используем известные уравнения и формулы Цеппритца [4]. Для оценки вкладов различных волновых компонент в результирующее отраженное от морского дна СА поле в виде слоистого полупространства. Рассмотрим структуру отраженных импульсов для случая, когда дно моделируется шестью жидкими и упругими слоями, а акустическое зондирование и регистрация осуществляются из водного слоя, на достаточно большом волновом расстоянии от дна. Будем полагать, кроме того, что расстояние между источником и приемной системой в виде горизонтальной решетки не велико. На каждой из границ между упругими слоями отражается и преломляется как монотипные, так и обменные продольные и поперечные волны [5]. Каждая из отраженных и преломленных волн будет участвовать в формировании результирующего отраженного от слоистого полупространства поля. Эффектами многократного отражения и преломления будем пренебрегать ввиду их относительно малого вклада в наблюдаемые СА сигналы. И в этом случае структура отраженных от такого дна СА сигналов характеризуются многочисленными особенностями, в частности, имеется ряд критических углов, при которых наблюдается полное внутреннее отражение, а также возбуждаются граничные волны. Кроме того, фаза отраженной волны может существенно меняться. На структуру отраженного от слоистого полупространства акустического поля существенно влияет частотно зависимое затухание, и эффекты возбуждения граничных волн.

На рис.1 показаны модель дна и результаты расчетов структуры отраженных от такого дна возбуждаемых в полосе частот от 150 до 250 Гц ЛЧМ импульсов после их согласованной фильтрации при мощности источника 300 Вт. Как следует из показанных и других расчетов, уровни различных волновых компонент, отраженных от слоистого полупространства, отличаются на 2-4 порядка, причем средние их значения быстро спадают с глубиной. При этом важно отметить, что волновые компоненты, связанные с переизлучением энергии в поперечные волны, в целом, существенно слабее по сравнению с продольными волнами. Возможности достоверного измерения таких слабых компонент отраженного сигнала зависят от уровня излучения, потерь при распространении и уровня помех и шумов.

Из сравнения уровней рассчитанных сигналов и помех, следует, что, например, при уровнях излучения  $\sim 100-300$  Вт достоверное измерение волновых компонент, связанных с



переизлучением акустических полей в поперечные волны, возможно при наличии достаточно контрастных границ до глубин  $\sim 200\div 300$  метров. Для них измерение времен прихода и амплитуд компонент, связанных с трансформацией энергии в поперечные волны, дает дополнительные возможности для реконструкции параметров слоев. В частности, в некоторых случаях, совокупность параметров всех волновых компонент позволяет свести решение обратной задачи к решению системы алгебраической уравнений. Однако, начиная с больших глубин все компоненты поля, связанные с переизлучением энергии в поперечные волны, становятся существенно меньше уровня помех.

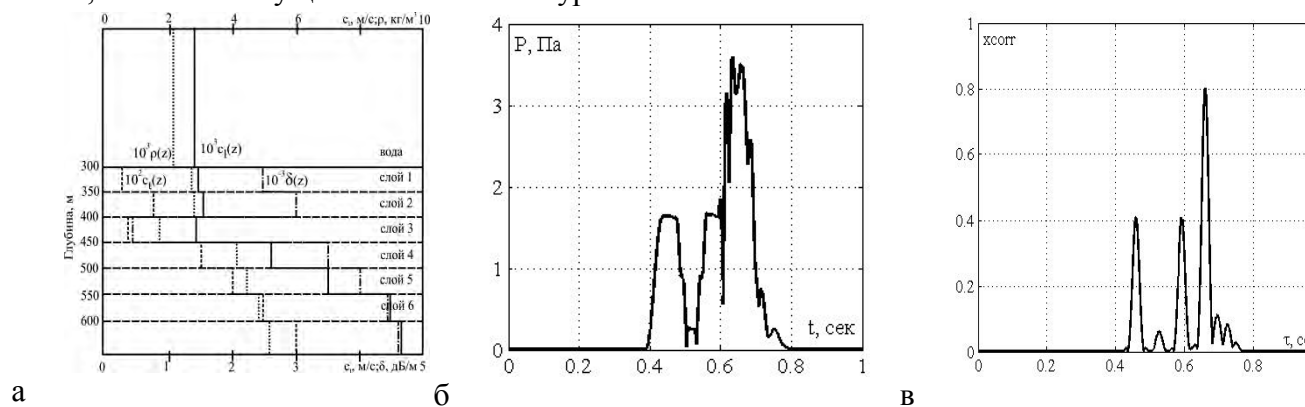


Рис. 1. Модель дна из семи слоев (а) часть компонент суммарного отраженного сигнал (б) и соответствующий ему нормированный отклик согласованного фильтра (в).

Анализ структуры отраженных от слоистого морского дна СА сигналов с помощью модели позволяет, используя аналитические зависимости параметров сигналов, применить при решении обратной задачи проекционный метод реконструкции параметров слоистого дна. Идея такого метода состоит в последовательном оценивании параметров сначала первого от поверхности дна слоя, потом следующего слоя, оценка которого получается с использованием оценки верхнего слоя, и так далее. Такая процедура позволяет оптимизировать траекторию поиска соответствующего общему решению глобально экстремума в многомерном пространстве наблюдаемых параметров донных слоев.

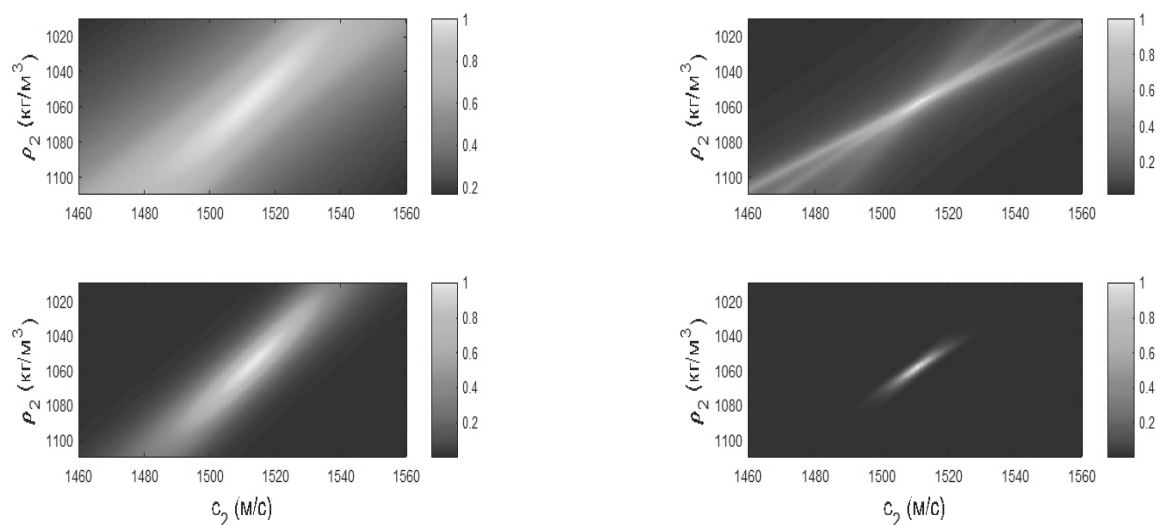


Рис. 2. Распределение мощностей процессоров AMUSIC в плоскости  $(\rho_2, c_2)$  для различных уровней шумов  $\varepsilon = 0$  (слева) и  $\varepsilon = 3 \cdot 10^{-5}$  (справа). Расстояния до антенн: 100 м (сверху) и 300 м (снизу),  $s = 25$  дБ, частота 1000 Гц.

На рис.2 показан результат модельных расчетов эффективности оценивания параметров второго жидкого слоя ( $\bar{\rho}_1 = 1051 \text{ кг/м}^3$  и  $\bar{c}_1 = 1500.5 \text{ м/с}$ ) в модели дна при использовании решающего правила AMUSIC [6] и приеме сигналов горизонтальной антенной длиной 100 и 300 м, на частоте 100 Гц, при уровне шумов -25 дБ. Точность оценки второго слоя падает с уменьшением точности оценки параметров верхнего слоя, которая зависит от отношения сигнал/шум на входе приемной системы (рис. 3). По мере повышения номера оцениваемого слоя (увеличения глубины его залегания) ошибки при реконструкции нарастают, и реконструкция с заданной достоверностью становится невозможной.

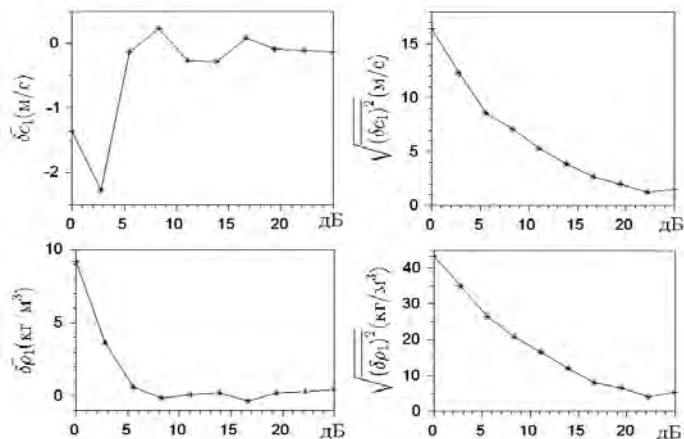


Рис. 3. Средние по 100 независимым реализациям сигнальных матриц отклонения  $\langle \delta c_1 \rangle$  и  $\langle \delta \rho_1 \rangle$ , а также их стандарты  $\langle (\delta c_1)^2 \rangle^{1/2}$ ,  $\langle (\delta \rho_1)^2 \rangle^{1/2}$  для различных значений отношения сигнал/шум на входе приемной системы.

*Работа поддержана РФФИ (проект № 16-29-02081) и частично выполнена в рамках Госзадания ИПФ РАН (тема № 0035-2014-0003) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Мировой океан – многофазность, многомасштабность, многокомпонентность».*

### Список литературы

1. В.А. Лазарев, А.И. Малеханов, Л.Р. Мерклин, В.И. Романова, А.А. Стромков, В.И. Таланов, А.И. Хилько. Экспериментальное исследование возможностей сейсмоакустического зондирования морского дна когерентными импульсными сигналами // *Акустический журнал*. 2012, Т. 58, №.2, С.227-236.
2. Лазарев В.А., Малеханов А.И., Мерклин Л.Р., Романова В.И., Таланов В.И., Хилько А.И. Когерентное сейсмоакустическое профилирование морского дна с использованием широкополосных сигналов // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 6. С. 843-850.
3. *Khobotov, A. K hilko, V. Yakhno*. Analysis of advantages of neuron-like systems in the procedure of signal comparison-measure calculation // *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)* – 2008. – N 5. – PP. 892-898.
4. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Т.1, - М., Мир, 1983, с. 519.
5. Романова В.И., Хилько А.И., Смирнов И.П. Использование модели отражения импульсов от упругого слоистого дна для реконструкции параметров слоев при буксировке когерентного акустического излучателя в мелком море / *Сборник трудов XXV сессии*

Российского акустического общества и сессии Научного совета по акустике РАН. Т.2, М.: ГЕОС. 2012. СС.280-285.

6. *Сазонтов А.Г., Смирнов И.П. и др.* Локализация источника в мелководном канале с взволнованной поверхностью // Акустический журнал, 2015. Т. 61, № 1, С. 114-122.

## **Примеры выделения опасностей по данным сейсмоакустических наблюдений на Арктическом шельфе.**

**Семенова Александра Александровна<sup>1</sup>, Старовойтов Анатолий Васильевич<sup>2</sup>, Терехина Яна Евгеньевна<sup>1</sup>, Росляков Александр Геннадьевич<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>ООО "ЦАСД МГУ", <sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики*

Интенсивное освоение материковых окраин в связи со строительством инженерных сооружений, таких как подводные трубопроводы, буровые платформы, заводы по сжижению природного газа и другие нефтегазопромысловые строения, обуславливает необходимость исследования инженерно-геологических процессов, представляющих опасность при возведении описанных конструкций. Своевременный учёт этих рисков позволяет минимизировать возможные осложнения не только при строительстве, но и при эксплуатации технических сооружений.

Опасные инженерно-геологические явления можно определить как результат деятельности геологических процессов, возникающих в земной коре под действием различных природных, или антропогенных факторов, которые имеют потенциальную возможность стать опасными и причинить вред человеку, окружающей среде или сооружениям (Kvalstad, 2007).

Существуют различные классификации опасных геологических процессов. Есть более общие классификации, например, как в работе (Мазарович, 2012). В данной статье опасности подразделяются на глобальные, региональные и локальные, и именно к группе локальных относятся все явления, оказывающие негативное геологическое влияние на инженерные сооружения. Сюда входят такие процессы, как сейсмичность, грязевой вулканизм, гравитационные явления, разгрузка флюидов, соленосные комплексы, газогидраты, зоны АВПД и др.

В зарубежном аналоге СП 11-114-2004, который описывает руководящие принципы проведения морских буровых исследований в опасных зонах (OGP "Guidelines for the conduct of offshore drilling hazard site surveys", 2013), присутствует таблица воздействия опасностей на инженерные конструкции (буровые платформы, опирающиеся на дно, якорные или плавучие). Также таблица содержит требования к методам проведения исследований для соответствующих опасных явлений. Сами процессы разделены на следующие категории: особенности естественного морского дна, антропогенные объекты, экологически опасные природные условия, зоны морских военных тренировок, археологические объекты, мелководные грунты, мелководные разломные зоны, зоны распространения приповерхностного газа, потоки поверхностных течений, газогидраты, геология верхней части разреза. Принцип деления на группы опасных явлений неоднозначный, что вызывает желание пересортировки по более конкретным характеристикам.

Другая классификация приведена в работе (Козлов, 2005), однако, она относится к условиям Западно-Арктического шельфа. Процессы и явления объединены в группы, каждая из которых включает отдельные виды и разновидности: геодинамические (природные и эксплуатационные), литодинамические (гидродинамические и гравитационные), геокриологические (мерзлотные и экзарационные), физико-химические и биохимические (выделение свободного газа, гумификация, битумизация и т.д.), гидрогеологические, техногенные механические. В таблице Козлова представлены некоторые особенности,

характеризующие определенный тип опасности, для одних – это особенности грунтов, для других – характерные формы рельефа.

В нормативных документах, которыми регулируются инженерные изыскания, тоже приводится описание возможных опасных процессов. Например, в СНиП 22-01-95 все явления подразделяются на 4 категории по степени опасности: умеренно опасные, опасные, весьма опасные и очень опасные (катастрофические).

В то же время существуют более узкие классификации, сконцентрированные на рассмотрении какого-то одного типа процессов. Например, в работе (Миронюк, 2014) подробно описаны явления, связанные с газопроявлением, и рассмотрены все элементы этой системы. В диссертации (Ионов, 2013) рассмотрены различные подводные гравитационные процессы, широко развитые на дне Мирового океана и Чёрного моря в частности.

Все вышесказанное демонстрирует, что существующие классификации либо посвящены отдельному типу явлений, либо отражают только некоторые характерные свойства

Авторы данного стенда предлагают свою систематизацию опасных геологических процессов, основанную в том числе и на классификациях предшественников. Система представлена сводной таблицей типизации всех существующих геологических процессов, представляющих опасность при строительстве и эксплуатации сооружений. Таблица включает в себя подробное описание опасного явления, методики для его обнаружения, геофизические характеристики (тип сейсмической записи, характер волновой картины, характерные углы падения отложений, мощность и т.д.), по возможности инженерно-геотехнические характеристики (плотность, проницаемость, влажность, пластичность, коэффициент пористости и т.п.), а также совмещает в себе сведения о степени опасности и к каким последствиям может привести несвоевременное обнаружение конкретного процесса.

### **Список литературы**

1. Kvalstad T.J., 2007, What is the Current Best Practice in Offshore Geohazard investigations? A State-of-the-Art Review, Offshore Technology Conference, pp. 1-14
2. OGP "Guidelines for the conduct of offshore drilling hazard site surveys", 2013
3. Мазарович А.О., Реальные и потенциальные геологические опасности на ложе, склонах и шельфе мирового океана, Вестник Российской Академии наук, 2012, том 82, № 8, с. 719–731
4. Козлов С.А., Опасные для нефтегазопромысловых сооружений геологические и природно-техногенные процессы на Западно-Арктическом шельфе России // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2005
5. СНиП 22-01-95
6. Миронюк, С.Г., Отто В.П., 2014, Газонасыщенные морские грунты и естественные газовыделения углеводородов: закономерности распространения и опасность для инженерных сооружений, ГеоРиск, №2, с.8-18
7. Ионов В.И., «Инженерно-геологические условия формирования подводных оползней в отложениях шельфа Чёрного моря (между мысом Мал. Утриш и бухтой Хоста)», автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, 23 стр., 2013

## **Распространение газонасыщенных осадков в губе Ругозерская и проливе Великая Салма (Белое море).**

**Терехина Яна Евгеньевна, Гордеев Егор Константинович, Пятилова Анна Михайловна**

*Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г.Москва*

Данное научное исследование посвящено теме распространения газонасыщенных осадков в проливе Великая Салма и губе Ругозерская (Белое море).

Аномальное, постоянное или периодическое поступление газа из осадочных толщ океанского дна в гидросферу и атмосферу - опасный геологический процесс. При появлении газа в придонных отложениях происходит изменение их физических и акустических свойств. Возрастание порового давления в газоносных слоях грунта вызывает снижение несущей способности грунтового основания, либо может вызвать прорыв газа к поверхности дна, образование суффозионных воронок, приводящих к потере устойчивости. Такие изменения свойств морского грунта могут представлять опасность при проведении технических работ на акваториях, в частности при бурении.

Поэтому одной из важнейших задач проведения инженерно-геологических изысканий на море является выявление подобных опасных участков разреза и выработка рекомендаций по выбору наиболее безопасной постановки сооружений на акваториях.

Основной целью работы является всестороннее изучение донных комплексов для расширения возможностей выделения газонасыщенных участков морского дна с использованием сейсмических и геологических методов. Обнаруженные закономерности распространения «газовых шапок» можно использовать при исследованиях на акватории арктических морей, где вопрос безопасности проведения инженерных работ стоит особенно остро.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- Создана интерпретационная база данных сейсмоакустических профилей по изучаемому полигону за весь период проведения геофизических исследований(2003-2015г).
- Выполнено картирование зон газонасыщенных отложений.
- Построены структурных карты морского дна, кровли морены и фундамента, а также карт мощности отложений придонного сейсмокомплекса и моренных отложений.
- Проведена классификация аномалий по геометрическим параметрам и особенностям расположения в разрезе.

В данной работе рассматриваются сейсмоакустические исследования, выполненные в проливе Великая Салма Кандалакшского залива Белого моря в период с 2003 по 2015 год. За этот период были проведены площадные съемки на глубинах до 150м методами НСП и ОСТ. В исследовании были использованы данные по 346 профилям.



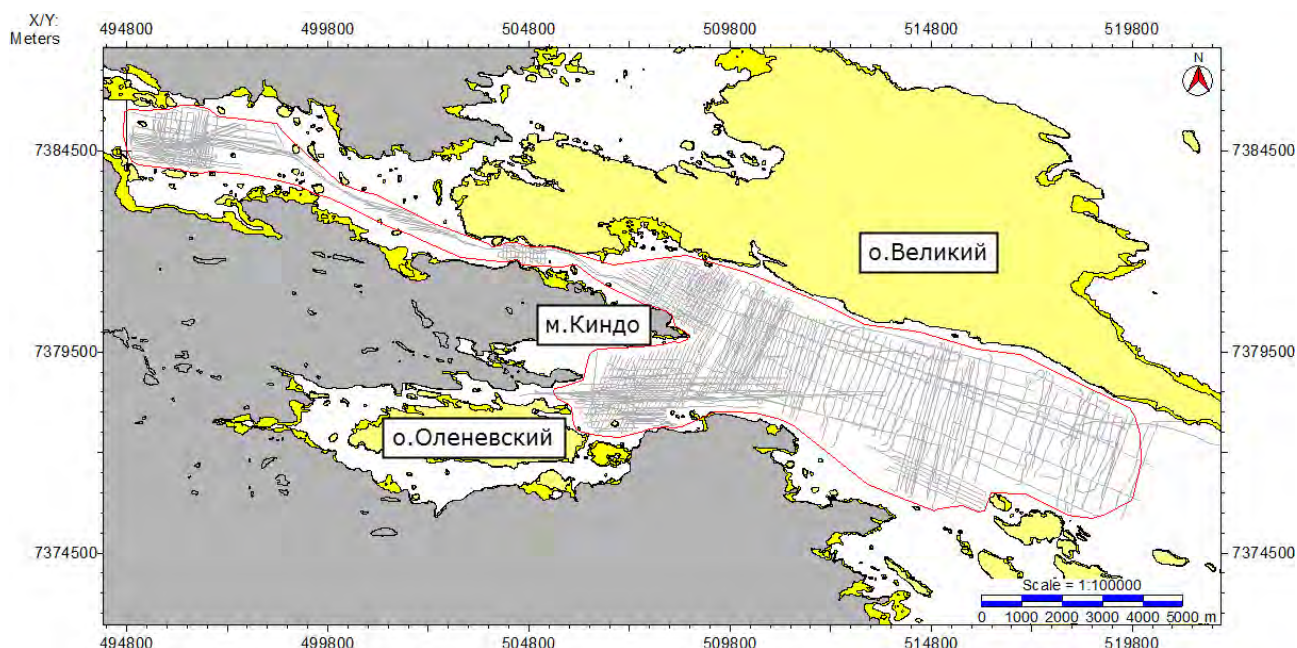


Схема расположения сейсмоакустических профилей.

В результате проведения данной научной работы был получен ряд выводов:

- Наибольшие скопления газонасыщенных осадков приурочены к понижению кровли фундамента;
  - «Газовые шапки» залегают в областях максимальных значений мощности надморенных отложений.
  - Для газонасыщенных отложений, расположенных к югу от острова Великий характерно развитие в оползневых телах, расположенных на склонах грабенообразной структуры.
  - Было сделано предположение о биогенном генезисе газа, образование которого связано с интенсивным накоплением органического вещества в условиях голоценового климатического оптимума.
  - Также было обнаружено, что глубина залегания «газовых шапок» составляет около 2,5-4,5 метров от дна, что может указывать на наличие, вероятно, глинистого флюидоупора на данной глубине, а также свидетельствуют о одновременности образования газа на изучаемой территории.

Таким образом были обнаружены закономерности распространения газонасыщенных осадков в акватории пролива Великая Салма и губы Ругозерская (Белое море).

Необходимо отметить, что в данной работе был использован набор профилей, полученных в 2015 году, который позволил провести интерпретацию по ранее неисследованному участку. В результате интерпретации удалось объединить все ранее изученные зоны с новым участком и получить общие карты структурных поверхностей и мощностей во временном и глубинном масштабе а также карту распространения газонасыщенных отложений за 2003-2015 годы.

**Новые данные по строению четвертичного покрова Ладожского озера, полученные в результате проведенного многоканального сейсмопрофилирования при сотрудничестве ИВПС КарНЦ РАН (Петрозаводск), ЦАСД МГУ им. М.В. Ломоносова и СПбГУ в 2015-2016 г.**

**Дамянович Д.И.<sup>1</sup>, Алёшин М.И.<sup>1</sup>, Хачатрян А.М.<sup>1</sup>, Росляков А.Г.<sup>2</sup>, Рыбалко А.Е.<sup>1</sup>, Терёхина Я.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ООО «ЦАСД МГУ», <sup>2</sup>Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Данная работа посвящена изучению особенностей геологического строения Ладожского озера. Основной **целью работы** является детальное изучение подводных гравитационных процессов в Ладожском озере. Для её достижения были поставлены следующие задачи:

- изучение истории развития региона и особенностей осадконакопления в четвертичном периоде;
- расчленение сейсмических разрезов на сейсмокомплексы с учётом геологического строения региона;
- анализ литературных источников по вопросам изучения развития подводных гравитационных процессов;
- выделение подводных сейсмогенно-гравитационных процессов на 2D сейсмических разрезах, определение сейсмофаций, слагающих эти тела;
- детальное описание тел, образовавшихся в ходе сейсмогенно-гравитационных процессов, в том числе и механизма образования

### **Геология района**

Район исследования – Ладожское озеро – расположен в месте сочленения Балтийского щита и Русской плиты во временном интервале между археем и протерозоем. По тектоническому строению Ладожское озеро является рифейской грабен-синклиналью, названной Ладожско-Пашской. Несмотря на это основную роль в обособлении бассейна озера сыграли четвертичные оледенения. В структурном строении котловины можно выделить два основных этажа: 1) структурные комплексы кристаллического фундамента архейского либо раннепротерозойского возраста, 2) комплексы плитного чехла, начавшие формироваться с поздневендского времени. Породы, слагающие фундамент, представлены на геологической карте (Рис. 1).

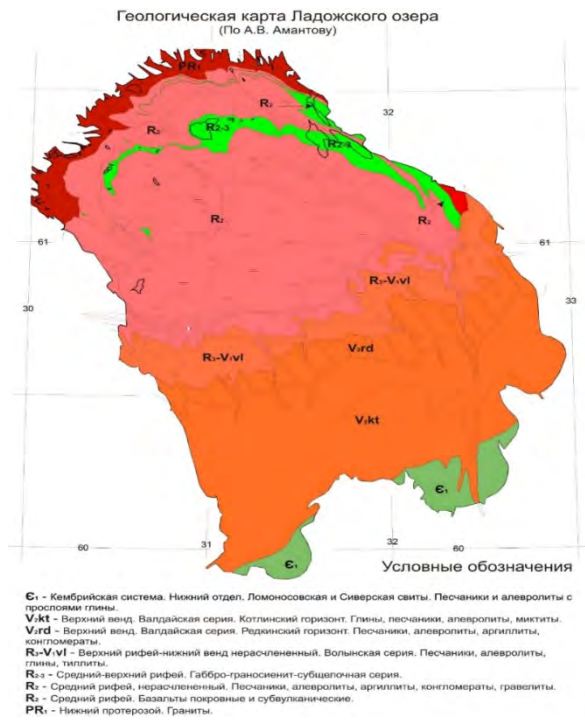


Рис. 1. Геологическая карта Ладожского озера.

### Методика

В течение последних двух лет на акватории Ладожского озера проводились сейсмоакустические исследования с целью изучения геологического строения его котловины. Карта профилей представлена на рисунке (Рис. 2).

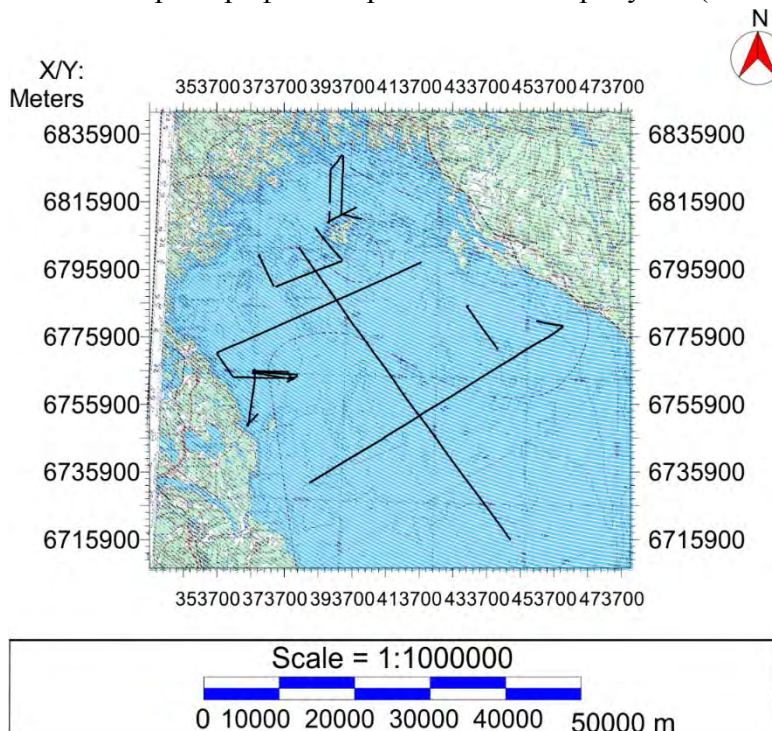


Рис. 2. Карта фактического материала сейсмоакустических исследований на акватории Ладожского озера.

По данным профилям были выполнены одноканальные исследования методом НСП, многоканальные исследования методом ОГТ (Рис. 3).



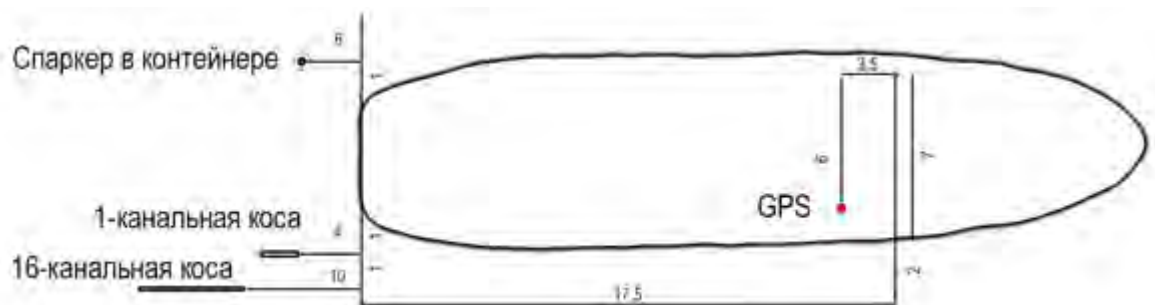


Рис. 3. Схема одноканального и многоканального сейсмоакустического профилирования.

### Интерпретация

Выделение сейсмических комплексов происходило на основании наличия несогласий в кровле и подошве, по смене волновой картины. Было выделено 3 основных комплекса:

1. Кристаллический фундамент
2. Моренные отложения различных фаз оледенения
3. Комплекс постледниковых осадков (озёрно-ледниковых и озёрных отложений)

На рисунке 2 приведён наиболее полный сеймостратиграфического разреза на озере, на котором наиболее полно представлены все вышеперечисленные отложения (Рис. 4).

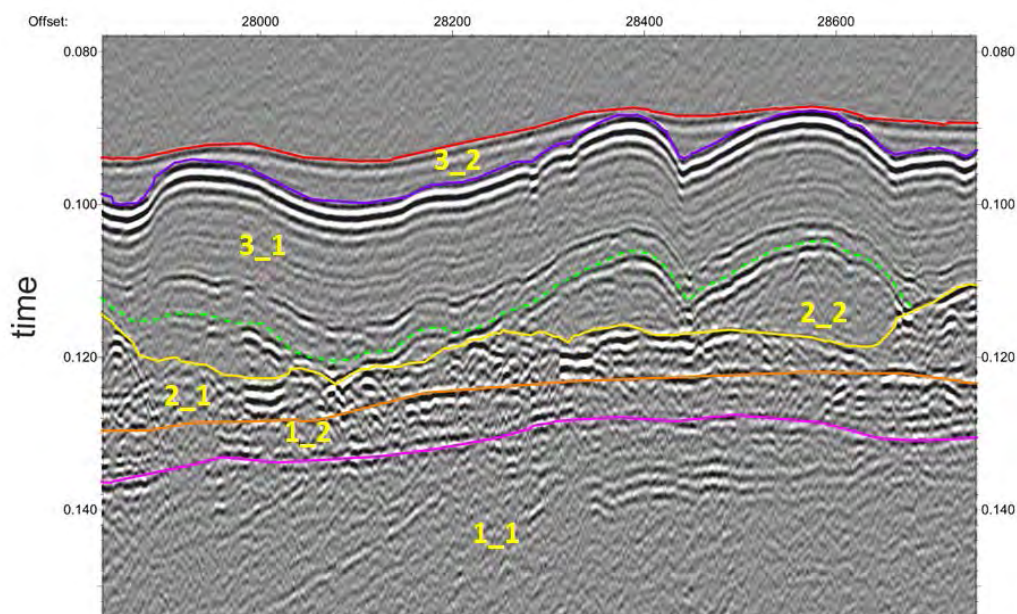


Рис. 4. Наиболее полный сеймостратиграфический разрез.

Цифрами обозначены: 1\_1 – комплекс рифейских пород, 1\_2 – комплекс вендских пород, 2\_1 – комплекс моренных отложений, 2\_2 – предположительно переотложенная морена, 3\_1 – комплекс ледниково-озёр озёрных осадков, 3\_2 – комплекс озёрных осадков.

Хорошая детальность исследований (разрешающая способность порядка 1 м) позволила выделить в каждом из комплексов различные подкомплексы, а именно:

1. Комплекс фундамента подразделяется на два подкомплекса, различающиеся по типу волновой картины. Нижний предположительно сложен рифейскими породами, а верхний – вендскими

2. Комплекс моренных отложений подразделяется на собственно морену и отложения стадийного комплекса ледника

3. Надморенный комплекс разделяется на ледниково-озёрные и современные озерные осадки

В ходе интерпретации был построен целый ряд карт изохрон и мощностей для всех сейсмокомплексов и выявлен ряд закономерностей их распространения и залегания, описанные выше. Также были выделены тела различных процессов как современных, так и погребённых, а именно:

- «Складки» оползания, характерные для крипа Тела водно-гравитационных потоков
- Собственно оползневые тела
- Отложения седиментационной ловушки

### **Выводы**

В ходе изучения геологического строения было выяснено, что фундамент имеет неоднородное строение. В северной части озера кровля фундамента разбита тектоническими нарушениями, из-за чего рельеф дна неровный с возможностью образования впадин глубиной до 200 м. В южной части озера фундамент подходит близко к поверхности воды.

В ходе сеймостратиграфического анализа было выявлено распределение различных фаций осадков на дне Ладожского озера и возможность разделения разреза на три основных комплекса: фундамент, моренные отложения и надморенный комплекс. Хорошая детальность исследований (разрешающая способность порядка 1 м) позволила выделить в каждом из комплексов различные подкомплексы. Для более детального изучения сеймофаций были построены карты изохрон и временных мощностей каждого из комплексов.

Были выделены комплексы, в которых возможно протекание сейсмогенно-гравитационных процессов. Было обнаружено большое разнообразие гравитационных и водно-гравитационных процессов, описаны размеры образованных ими тел, описано их строение.

**СЕКЦИЯ: OFFSHORE TRAINING-THROUGH-  
RESEARCH**



## Three years of "Training-through-Research" on Lake Baikal: progress assessment and future plans of the Class@Baikal project.

Akhmanov G.G.<sup>1</sup>, Khlystov O.M.<sup>2</sup>, Poort J.<sup>3</sup>, Tokarev M.Yu.<sup>1</sup>, Minami H.<sup>4</sup>,  
and Class@Baikal Team

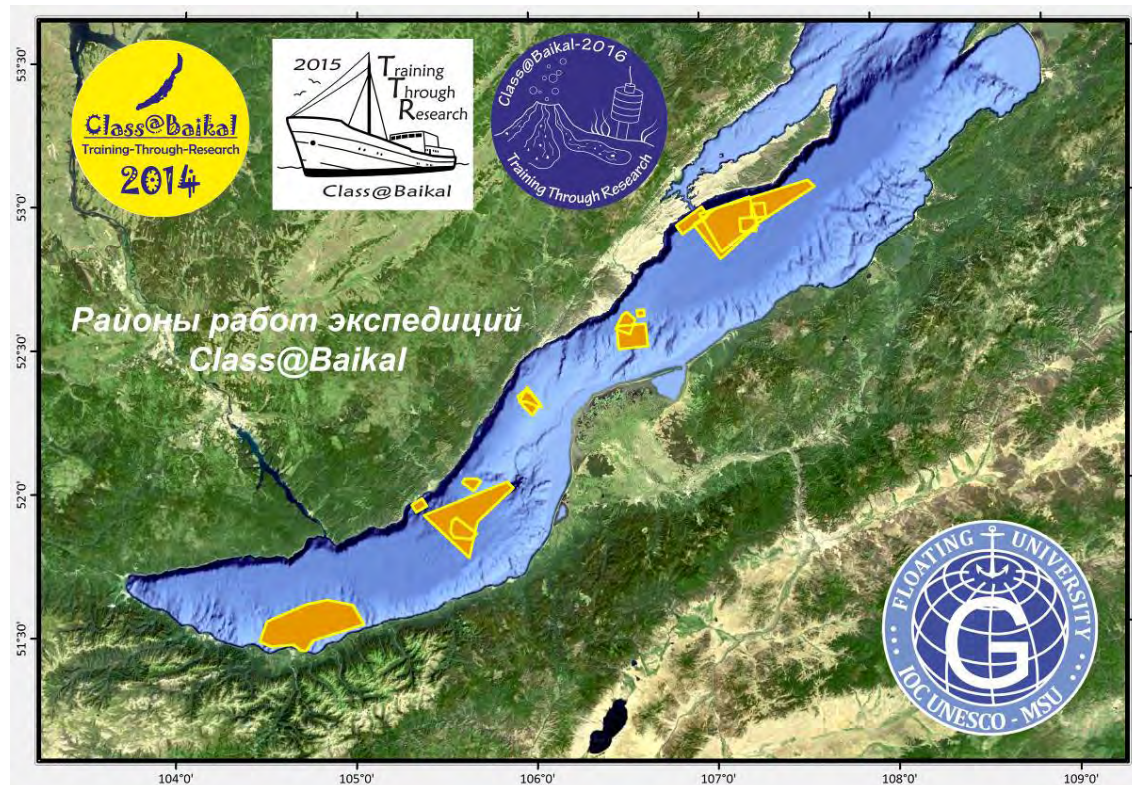
<sup>1</sup>Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Limnological Institution, SB RAS, Irkutsk, Russia

<sup>3</sup>Institute of Earth Sciences in Paris (ISTeP), University Pierre et Marie Curie (UPMC), Sorbonne Universités, France, <sup>4</sup>Kitami Institute of Technology, Kitami, Japan

Three years ago, during the MARESEDU-2013 conference, we have discussed the idea of the International "Training-through-Research" on Lake Baikal. Later it was named "Class@Baikal" project (<http://www.class-baikal.ru/>). On MARESEDU-2016 we can report that we are very proud that the Class@Baikal runs quite successfully already for three years. We have managed to organize three main multi-disciplinary (geology, geochemistry, geophysics, and biology) expeditions on Lake Baikal and several related events, such as International student webinar in Irkutsk and two post-cruise meetings in Listvyanka. Additionally to the main cruises, the students of the Class@Baikal were invited and took part in three expeditions organized in frameworks of other projects on the lake.

«G.Yu. Vereshchagin», a research vessel of the Limnological Institution of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (LIN SB RAS), serves as a hospitable home for students and researches from the Lomonosov Moscow State University, LIN SB RAS, the National Research Technical Institution, the University of Oslo (Norway), the Pierre and Marie Curie "Sorbonne" Paris University and the Kitami Institute of Technology (Japan). Nine principle areas of investigations located in the central and southern depressions of the lake were studied and an impressive set of new data was obtained.



The Class@Baikal has explored following areas: Goloustnoe, Bolshoy Mud Volcano, Elovskiy Field, Krasny Yar Seeps, Tankhoy Offshore Field, Novosibirsk and St.Petersburg mud volcanoes, Ol'khon Gate Field. For the first time ever, the Khuray deep-water depositional system, the slide complex of the Kukuy Griva (ridge) and the slumped area of the Krasny Yar slope were examined in details during the Class@Baikal cruises and the post-cruise data processing led to intriguing results which were reported on several International conferences and accepted for publication in research journals (e.g. Solovyeva et al., 2016). In total, 1013 km of subbottom profiler lines, 146 km of seismic profiles, 172 km of side-scan sonar lines were acquired, 239 bottom sampling stations were taken, a number of thermophysics measurements, gas and sediment samples were collected for different analyses during three Class@Baikal cruises.

Following the traditions of the legendary UNESCO “Training-through-Research (Floating University)”, collected material is being processed by students which participated in the expedition under supervision of researchers and professors from universities and institutions of Russia, Europe and Asia which collaborate in the framework of the Class@Baikal project. Several research papers, five end-of-year, six BSc, and two MSc projects have been prepared and defended by the students of the Faculty of Geology of Lomonosov Moscow State University on the basis of the data collected during the cruises. Three BSc and two MSc more theses are in preparation. Ten research presentations are prepared by the participants of the Class@Baikal and included into the program of the MARESEDU-2016 conference (<http://www.maresedu.com/>). Traditional topics of the UNESCO “Training-through-Research (Floating University)” program are fully represented in the project Class@Baikal studies. They are: (1) natural gas hydrates and focused hydrocarbon gas seepages; (2) mud volcanism and clay diapirism; (3) modern deep-sea depositional system, deep-sea fans, canyons and channel complexes; (4) heat flow and thermophysical characteristics of bottom sediments; (5) slope stability/instability; (6) neotectonics, seafloor morphology, sedimentation. Daily scientific presentations and workshops are conducted onboard during Class@Baikal cruises. Daily internet broadcast from expeditions is set up. Every evening expedition participants upload to the site (<http://www.class-baikal.ru/>) their notes on the daily activities and their experience of onboard life. The idea of the Class@Baikal project, its progress and some results were broadcasted by the press in the internet and on television, including one of the main Russian channels.

The Class@Baikal project – onboard training of the marine science students on the Baikal Lake – is successfully running for the three years following and carrying further the traditions laid out by the legendary Training-Through-Research Programm (Floating University). Basing on the experience formed in three years of its execution, as development plans of the Class@Baikal the follows should be mentioned: (1) strengthening of international component of the project with involving/inviting new partners (e.g. CAGE/University of Tromso, University of Fribourg, University of Tokyo...); (2) enhancement of national inter-university contacts (Irkutsk University, Kazan University, St-Petersburg University...); (3) increasing of a “stability” of the project with looking-for long-term sponsorship partner or involving into long-term grant or state programme); (4) further equipping of RV “Vereshchagin” (underwater navigation, hull mounted profiler, underwater TV system, express chromatograph...)

#### **References:**

Solovyeva M.A., Starovoytov A.V., Akhmanov G.G., Khlystov O.M., Khabuev A.V., Tokarev M.Yu., Chensky D.A. 2016 The evolution of slump-induced destruction of Kukuy Griva slope (Lake Baikal) revealed on the base of the data of seismic and acoustic surveys. // *Moscow University Geology Bulletin (in press)*.

**Хроника Class@Baikal: новые подходы, реализуемые в новом проекте  
Международной Программы ЮНЕСКО-МГУ «Обучение-через-исследование  
(Плавающий Университет)».**

**Несмеянова Е.М.<sup>1,2</sup>, Бубнова С.Ю.<sup>2</sup>, Ахманов Г.Г.<sup>2</sup>, Хлыстов О.М.<sup>3</sup>  
и команда проекта Class@Baikal**

<sup>1</sup>ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва,  
Россия

<sup>2</sup>Учебно-научный Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при  
геологическом факультете, Московский государственный университет имени М.В.  
Ломоносова, Москва, Россия;

<sup>3</sup>Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

Летом 2014 года стартовал проект Class@Baikal [<http://www.class-baikal.ru/>]. Проект родился «в недрах» многолетней международной научно-образовательной программы «Обучение-через-исследования (Плавающий Университет)» (Training-through-Research (Floating University)) [<http://floatinguniversity.ru/>], базируется на её принципах и осуществляется силами преданных энтузиастов этой программы.

Проект Class@Baikal также привнес в систему «Обучение-через-исследования», отработанную более чем за 25 чрезвычайно успешных лет, и собственные новые подходы, которые реализуются уже три года и получили весьма положительные отклики.

Особенностью экспедиций Class@Baikal стало то, что впервые в рейсах Плавающего Университета организовано ежедневное освещение хода работ экспедиции в интернете. Ежедневно участники рейса готовят и выкладывают на специальную страницу подробные и хорошо иллюстрированные отчеты о проведенных экспедиционных работах и об особенностях полевой жизни. Ежедневные странички дневника экспедиции подкрепляются освещением экспедиции в социальных сетях [<https://www.facebook.com/class.baikal>; <https://vk.com/class.baikal>]. Новая интерактивная методика привлечения внимания широкой общественности к научно-экспедиционным мероприятиям, которые по своей специфике полевых работ изначально имеют ограничения по количеству непосредственных участников, опробована и прижилась в Class@Baikal. Методика показала свою жизнеспособность и востребованность, особенно в студенческой среде.

Другой «изюминкой» Class@Baikal стали ежедневные видео-зарисовки с борта научно-исследовательского судна. В конце экспедиции монтируются короткометражные фильмы и видеоматериал расширенного формата, представляющие научные цели и задачи экспедиции, участников и образовательную специфику проекта. Один из таких фильмов будет продемонстрирован на MARESEDU-2016.

Работа медиа-группы Class@Baikal также привлекает внимание к проекту региональных и национальных СМИ. Идее проведения студенческой экспедиции «Байкальского плавающего университета», её ходу и некоторым результатам были посвящены несколько репортажей на телевидении, в т.ч. на центральном российском канале

[[http://vesti.irk.ru/news/science/174869/?sphrase\\_id=100665](http://vesti.irk.ru/news/science/174869/?sphrase_id=100665);  
[http://vesti.irk.ru/news/news\\_day/175172/?sphrase\\_id=100665](http://vesti.irk.ru/news/news_day/175172/?sphrase_id=100665);  
[http://russia.tv/video/show/brand\\_id/3838/episode\\_id/1217934/video\\_id/1203298/viewtype/picture](http://russia.tv/video/show/brand_id/3838/episode_id/1217934/video_id/1203298/viewtype/picture);  
[http://russia.tv/video/show/brand\\_id/3838/episode\\_id/1213338/video\\_id/1196255/viewtype/picture](http://russia.tv/video/show/brand_id/3838/episode_id/1213338/video_id/1196255/viewtype/picture);  
<http://vesti.irk.ru/news/nature/182683/>].

**Состав и происхождение углеводородных флюидов в донных осадках озера Байкал.**  
**Видищева Олеся Николаевна<sup>1</sup>, Карамова Гульназ Флусовна<sup>1</sup>,**  
**Кислицына Екатерина Валерьевна<sup>1</sup>, Сливко Елена Викторовна<sup>1</sup>,**  
**Сливко Ирина Энверовна<sup>1</sup>, Ахманов Григорий Георгиевич<sup>1</sup>,**  
**Хлыстов Олег Михайлович<sup>2</sup>**

*1 - МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет,*

*2 - Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск*

История изучения выходов газов из донных осадков озера Байкал насчитывает около полутора столетия [1-4]. В 1997 году проводилась геохимическая газовая съемка в дельте реки Селенги [3]. Подробное описание молекулярного и изотопного состава УВ газов озера Байкал приводятся в работах [5, 6].

С 2014 года проходит научно-исследовательская экспедиция Class@Baikal, одной из задач которой является проведение газогеохимических исследований донных осадков озера Байкал. За три года существования программы Class@Baikal (2014-2016) [8] было изучено более 1600 образцов углеводородных (УВ) газов. Отбор проб проводился с НИС «Г.Ю.Верещагин» с помощью гравитационной трубки 3 м и 5 м. Дегазация осадков проводилась методом «Head-space». Определение молекулярного состава газа проходило в лаборатории МГУ имени М.В. Ломоносова на приборе Trace GC Ultra, изотопный анализ проводился на комплексе оборудования для исследования стабильных изотопов легких элементов Delta V Advantage с пробоподготовкой на линии GS Isolink. Помимо газов из осадков были также изучены УВ газы из газовых гидратов, поднятых из глубин Байкала.

В рамках программы Class@Baikal изучались следующие структуры в пределах центральной и южной котловины озера: 1) склон Кукуйской гривы; 2) подводный грязевой вулкан «Новосибирск»; 3) структура выхода газа «Крест»; 4) «Сип 13»; 5) «Уншуй»; 6) глубоководно-осадочная система Хурай; 7) подводный грязевой вулкан «Большой»; 8) структура «Санкт-Петербург»; 9) полигон «Еловский»; 10) район распространения газовых сипов «Красный Яр»; 11) «Голоустное»; 12) подводная часть Танхойского поля южного борта южной котловины Байкала.

В ходе исследований установлено, что УВ газ из донных осадков озера Байкал в основном состоит из метана (90-100%), концентрации которого достигают 42714 мкл/л (станция TTR-BL14-046G, структура «Уншуй»). Из гомологов встречается этан (до 7%), пропан и бутан. Концентрация газа имеет тенденцию увеличения с глубиной. Изотопный состав углерода метана варьирует от -36‰ (грязевой вулкан «Большой») до -75‰ VPDB, углерода этана от -17‰ до -24‰ VPDB. Таким образом, изученный газ можно отнести к 3 типам: биогенный, смешанный и термогенный. Биогенный газ был встречен во всех изучаемых структурах. Эта особенность объясняется активными микробиальными процессами в верхних слоях донных отложений. Газ термогенного происхождения к настоящему времени был отобран на структурах: грязевой вулкан «Большой» и «Новосибирск», структура «Крест» и «Сип 13». Начались исследования газов отобранных в пределах подводной части Танхойского поля. Наибольший интерес представляет газ смешанного и термогенного происхождения, который свидетельствует о работающей нефтяной системе и дает предпосылки обнаружения залежей УВ в осадочных накоплениях Байкальского рифта [7].

### Список литературы

1. Ефремова А.Г., Андреева М.В., Левшенко Т.Вл. и др. О газах в осадках Байкала // Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений. 1980, вып.2. - С. 15-23.
2. Исаев В.П., Арсенюк А.С., Скворцова Н.С., Ширибон А.А. Газы донных осадков аванделты реки Селенги // Интеллектуальные и материальные ресурсы Сибири Материалы 4-ой регион науч -практ конф 20-21 апреля 2001г -Иркутск, 2001 - С 228-234
3. Исаев В.П., Коновалова Н.Г., Михеев П.В. Природные газы Байкала // Геология и геофизика, 2002, т. 43, №7, с. 638-643.
4. Лебедь ГГ. и др. Отчет о результатах региональных, площадных и опытно-методических геохимических работ за 1984-1987 гг. -Иркутск: Востсибнефтегазгеология. 1984. 154 с.
5. Калмычков Г.В., Егоров А.В., академик Кузьмин М.И., Хлыстов О.М. Генетические типы метана озера Байкал/Доклады академии наук, 2006, том 411, №5. С.672-675.
6. Nachikubo A., Khlystov O., Krylov A., Sakagami H., Minami H., Nunokawa Y., Yamashita S., Takahashi N., Shoji H., Nishio Sh., Kida M., Ebinuma T., Kalmychkov G., Poort J. Molecular and isotopic characteristics of gas hydrate-bound hydrocarbons in southern and central Lake Baikal // Geo-Marine Letters. – 2010. - V. 30, № 3-4. - P. 321-329
7. Петухов А.В., Старобинец И.С. (ред). Основы теории геохимических полей углеводородных скоплениц. М.: Недра, 1993. – 332 с.
8. <http://www.baikal.festivalnauki.ru/>

### **The composition and origin of hydrocarbon gases in the sediments of Lake Baikal**

**Vidisheva O.L.<sup>1</sup>, Karamova G.F.<sup>1</sup>, Kislitsina E.V.<sup>1</sup>, Slivko E.V.<sup>1</sup>, Slivko I.E.<sup>1</sup>,**

**Akhmanov G.G.<sup>1</sup>, Khlystov O.M.<sup>2</sup>**

*1-Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*2-Limnological Institution, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

The investigation of gas seepages from the bottom sediments of Lake Baikal has started about one hundred and fifty years ago [1-4]. In 1997 a gas geochemical survey was conducted in the Selenga delta [3]. Several papers [5, 6] report on molecular and isotopic compositions of hydrocarbon gases.

International expeditions of the Class@Baikal project run since 2014. One of tasks of the expeditions is to obtain samples for geochemical analyses of the Lake Baikal sediments. For three (2014-2016) years of the Class@Baikal project [8] more than 1600 samples of hydrocarbon (HC) gases has been collected and studied. Sampling was carried out from RV "G.Yu.Vereschagin" with gravity cores, 3 m and 5 m long. The degassing was carried out according to head-space technique. The molecular compositions of hydrocarbons (from C1 to C4) were determined using a gas chromatograph Trace GC Ultra, carbon isotopes of C1 and C2 were measured using a continuous-flow isotope-ratio mass spectrometer Delta V Advantage. In addition to the gases from the sediments, hydrocarbon gases from natural gas hydrates were also studied.

Twelve area in the southern and central parts of Baikal were studied during Class@Baikal expeditions: (1) Kukuy Griva (ridge) slope; (2) Novosibirsk mud volcano; (3) "Krest" gas seepage; (4) "Seep-13"; (5) Unshuy; (6) Khuray deep-water depositional system; (7) Bolshoy mud volcano;



(8) St. Petersburg seep; (9) Elovskiy Field; (10) Krasny Yar; (11) Goloustnoe; (12) Offshore continuation of the Tanhoy field.

As a result of the studies it was concluded that the hydrocarbon gas from the Lake Baikal sediments is mainly methane (90-100%). Its concentrations reaches 42714  $\mu\text{l/l}$  (station TTR-BL14-046G, «Unshuy" structure). "Wet" gas components: ethane (C<sub>2</sub>, up to 7%), propane (C<sub>3</sub>), isobutane (iC<sub>4</sub>), normal butane (nC<sub>4</sub>), were also detected. The gas concentration tends to increasing with a depth. The isotopic composition of methane carbon varies from -36‰ (the Bolshoy mud volcano) to -75‰ VPDB, ethane carbon - from -17‰ to -24‰ VPDB. Thus, the studied gas can be attributed to three types: biogenic, thermogenic and mixed. The biogenic gas was identified in all of the studied structures. This is explained by the active microbial processes in the uppermost layers of sedimentary succession of the lake. The thermogenic gas has been sampled from the structures: Bolshoy mud volcano, Novosibirsk mud volcano, "Krest" and "Seep-13". We have started studying the gases collected from the offshore continuation of Tanhoy field. The mixed gases and ones of thermogenic origin are of the most intriguing findings. They can imply "working" petroleum systems and recent hydrocarbon accumulations within the sedimentary infill of Baikal Rift [7].

#### References:

1. Efremova A.G., Andreeva M.V., Levshenko T.V. et al. About gases in the sediments of Baikal // *Geologiya i razvedka gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdenii*. 1980, v.2. - p. 15-23. (in Russian)
2. Isaev V.P., Arseniuk A.S., Skvortcova N.S., Shiribon A.A. The gases of bottom sediments of the underwater delta of Selenga-river // *Intellektual'ny'e i material'ny'e resursy Sibiri*. Proceedings of 4th regional conference. 20-21 April 2001 - Irkutsk, 2001 - p 228-234. (in Russian)
3. Isaev V.P., Konovalova N.G., Mikheev P.V. Natural gases of Baikal // *Geologiya i geofizika*, 2002, v. 43, №7, p. 638-643. (in Russian)
4. Lebed G.G. et al. Report on results of regional, local and methodic geochemical studies of 1984-1987. - Irkutsk: Vostsibneftegazgeologiya. 1984. 154 p. (in Russian)
5. Kalmychkov G.V., Egorov A.V., akademik Kuz'min M.I., Khlystov O.M. Genetic types of methane of Baikal Lake / *Doclady akademii nauk*, 2006, v 411, №5. p.672-675. (in Russian)
6. Hachikubo A., Khlystov O., Krylov A., Sakagami H., Minami H., Nunokawa Y., Yamashita S., Takahashi N., Shoji H., Nishio Sh., Kida M., Ebinuma T., Kalmychkov G., Poort J. Molecular and isotopic characteristics of gas hydrate-bound hydrocarbons in southern and central Lake Baikal // *Geo-Marine Letters*. – 2010. - V. 30, № 3-4. - P. 321-329
7. Petuhov A.V., Starobinetc I.S. (Eds.). Basics of theory of geochemical fields of hydrocarbon accumulations. M.: Nedra, 1993. – 332 p. (in Russian)
8. <http://www.baikal.festivalnauki.ru/>



## **Особенности строения приповерхностных донных отложений озера Байкал.**

**Кудаев Артур Алиевич<sup>1</sup>, Корост Дмитрий Вячеславович<sup>1</sup>,**

**Ахманов Григорий Георгиевич<sup>1</sup>, Хлыстов Олег Михайлович<sup>2</sup>**

*1 – Геологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

*2 – Лимнологический институт Сибирского отделения Российской Академии Наук*

В 2014 году Международная программа ЮНЕСКО-МГУ Обучение-через-исследования (TTR от англ. Training-through-Research) пришла на Байкал. В тесном сотрудничестве с учеными Лимнологического института СО РАН и опираясь на их огромный опыт исследований, к 2016 году на акватории озера организованы и проведены три научно-образовательные геолого-геофизические экспедиции, выполнен большой комплекс работ с профилографом и гидролакатором бокового обзора, изучались многочисленные структуры современной флюидоразгрузки на дне и область развития глубоководной осадочной системы Хурай. Проект получил название TTR-Class@Baikal.

Одним из основных методов было геологическое донное опробование с применением ударной трубки. В общей сложности, в ходе рейсов Class@Baikal выполнено 239 станций опробования. Поднятые колонки представлены как типичными пелитоморфными пелагическими осадками, так и зернистыми накоплениями с градационной слоистостью, плохосортированными, комковатыми отложениями грязевулканических потоков и, наконец, приповерхностными газовыми гидратами.

Изучение осадков различными методами позволило расширить знания об особенностях современного осадконакопления озера Байкал и сделать выводы о процессах, происходящих в придонной толще. Впервые в изучении байкальских отложений масштабно был применен метод полноразмерной компьютерной томографии с разрешением 120 dpi, с обработкой до построения трехмерной модели керна и последующим компьютерным анализом. Метод позволил без механического разрушения осадков изучить детали их внутреннего строения, определить размеры и форму внутренних текстурных элементов, не всегда доступных к изучению на одной поверхности среза керна.

Съемка компьютерной томографии производилась на устройстве РКТ-180 в лаборатории Московского государственного университета. На томографических снимках был определен элемент строения осадков, характерный для зон фокусированной разгрузки углеводородов. Это суб-вертикальные текстурные элементы двух типов: первые с низкой рентген-адсорбцией, вторые с высокой (ниже и выше, чем вмещающие осадки). Элементы обоих типов обладают схожей изогнутой, вьющейся формой и размером. Отличие же состоит в их минеральном составе и характере распределения в осадках в пределах районов разгрузки метана на дне озера.

Каналы первого типа незаполненные. А в каналах второго типа рентгено-фазовый анализ показал присутствие сульфида железа. Предположительно, такие каналы являются зоной развития аутигенной минерализации, связанной с фокусированной разгрузкой углеводородов. Каналы первого типа распространены вблизи и непосредственно в очагах современной разгрузки метана, каналы второго типа встречаются на периферии таких зон. Построены карты распределения таких текстурных элементов. Каналы обоих типов генетически связаны, причем каналы второго типа, скорее всего, формируются по каналам первого типа, т.е. являются более поздней генерацией оных.

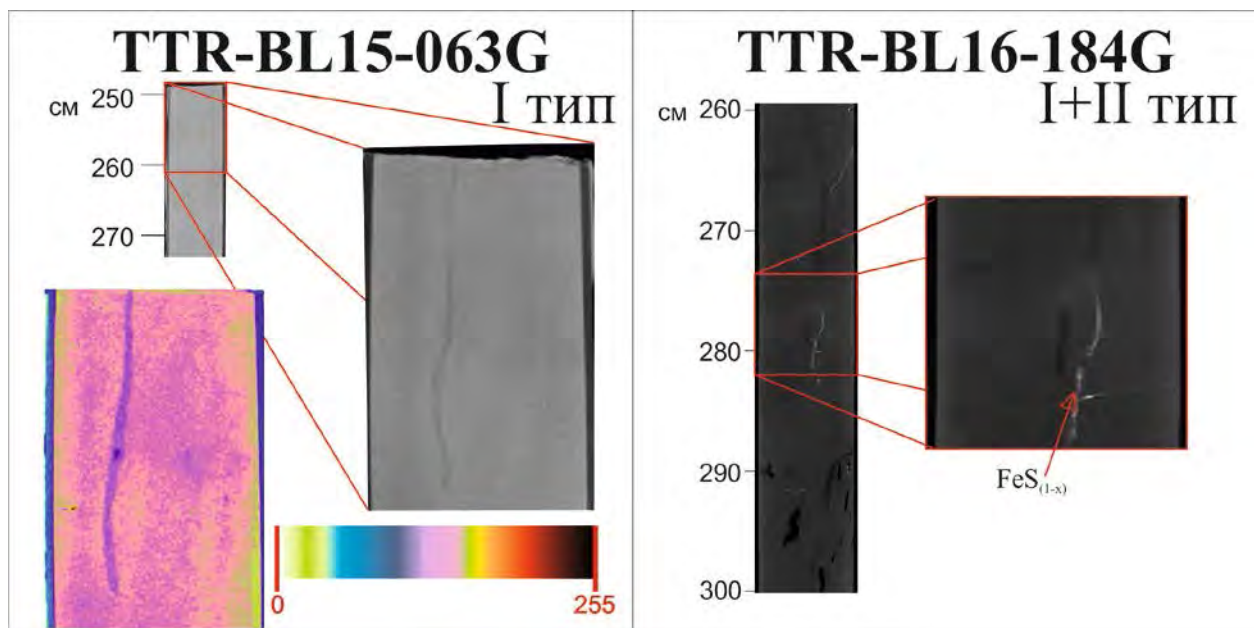


Рис. 1. Различные типы вертикальных текстурных элементов в современных осадках озера Байкал на примере станций TTR-BL15-063G и TTR-BL16-184G.

В ходе опробования района газовых сипов Красный Яр в экспедиции Class@Baikal-2016 в одном из подобных текстурных элементов была обнаружена твердая минеральная конкреция, предположительно марказитовая. Также установлено, что конкрециобразование идет снизу вверх. Сначала заполняются каналы, расположенные ниже по разрезу, как это продемонстрировано на рисунке 1.

Изучение таких текстур позволяет расширить понимание процессов, характерных для зон фокусированной разгрузки метана в осадках озера Байкал.

## **Аутигенные карбонаты озера Байкал.**

**Крылов А.А.<sup>1,2</sup>, Хлыстов О.М.<sup>3</sup>, Минами Х.<sup>4</sup>, Хачикубо А.<sup>4</sup>, Погодаева Т.В.<sup>3</sup>,  
Земская Т.И.<sup>3</sup>, Логвина Е.А.<sup>2</sup>**

*1 – СПбГУ, Институт Наук о Земле, Санкт-Петербург; 2 – ФГБУ*

*«ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург; 3 – Лимнологический Институт СО РАН,*

*Иркутск; 4 – Технологический Институт Китами, Китами, Япония*

По ведущим механизмам кристаллизации карбонаты подразделяются на следующие основные группы: 1) органогенные-биохемогенные; 2) диагенетические за счет микробиальной деструкции органического вещества («диагенетические-1»); 3) диагенетические за счет аэробного/анаэробного окисления биохимического/катагенетического метана («диагенетические-2»); 4) диагенетические за счет микробиальной генерации метана («диагенетические-3»); 5) «гидротермальные» (окисление абиогенного метана); 6) «катагенетические» (деструкция керогена). Таким образом, аутигенные карбонаты являются важнейшим индикатором условий диагенеза и катагенеза морских и озерных отложений. Они могут использоваться в качестве косвенных признаков при поисках и разведке углеводородов (Голышев и др., 1981 и др.).

Одним из определяющих критериев, используемых при реконструкции генезиса карбонатов, являются данные по содержанию стабильных изотопов  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ . Значения  $\delta^{13}\text{C}$  достаточно успешно используются для выяснения источников углерода, входящего в кристаллическую решетку карбонатов, а результаты измерений  $\delta^{18}\text{O}$  позволяют восстанавливать палеотемпературу кристаллизации и/или изотопный состав кислорода («палеосоленость») в окружающей зону роста «воде». Последняя может быть морской/океанической, озерной, поровой, метеорной, глубинным флюидом и т.п. Несмотря на то, что некоторые из вышеперечисленных категорий характеризуются конвергентностью изотопных меток, мы полагаем, что в большинстве случаев источник углерода карбонатов может быть успешно установлен.

Озеро Байкал является уникальным водоемом, который долгое время считался бескарбонатным (Князева, 1964). В дальнейшем, однако, аутигенные родохрозиты и сидериты были найдены в подводном термальном источнике бухты Фролиха (Гранина и др., 2007) и скважине ВDP-98 на Академическом хребте (Коллектив участников..., 2000; Sapota et al., 2006), соответственно. Интенсивное исследование газогидратоносных сипов и грязевых вулканов позволило обнаружить многочисленные образцы сидеритов (Крылов и др., 2008; Krylov et al., 2008; 2010) и родохрозитов (Krylov et al., 2016) в приповерхностных осадках озера. Всего карбонаты были обнаружены в приповерхностных осадках 28-ми газогидратоносных сипов и грязевых вулканов.

Наиболее контрастным является распределение изотопов  $\delta^{13}\text{C}$ , варьирующее от -29.4‰ в родохрозитах газогидратоносного сипа «Санкт-Петербург-2» до  $> +30\%$  в сидеритах газогидратоносного грязевого вулкана «Кедр». Детальное изучение изотопного состава ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta\text{D}$ ) газов, химического состава поровых вод, величин  $\delta^{13}\text{C}$  в растворенном неорганическом углероде (DIC) позволило предположить, что ведущим механизмом, повышающим щелочность поровых вод, является генерация метана за счет восстановления  $\text{CO}_2$  или/и ферментации ацетата. Это приводит к значительному изотопному фракционированию между углеродом генерируемых метана и  $\text{CO}_2$ . Таким образом, основная часть карбонатов (сидеритов) может быть отнесена к типу «диагенетические-3».

Отрицательные значения  $\delta^{13}\text{C}$  в родохрозитах грязевого вулкана «Кедр», вероятнее всего, могут быть объяснены окислением органического вещества железом/марганцем на фоне процессов метаногенерации, то есть эти карбонаты относятся к «диагенетическим-1». Изотопные профили  $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$  в разрезе осадков данной (и не только!) структуры не дают оснований предполагать анаэробное окисление метана в качестве источника повышения количества DIC. Видно, что значения  $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$  становятся легче по направлению к поверхности морского дна, что характерно для процессов метаногенерации, а не АОМ. Вероятнее всего, в самом верхнем слое осадков (~0-10 см) должно наблюдаться «утяжеление» изотопного состава  $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ , связанное с процессами окисления метана, однако, опробовать этот участок разреза не удалось. Наблюдаемое «облегчение» может быть объяснено процессами рециклинга углерода (Bogowski et al., 1997).

Удивительным является факт обнаружения карбонатов с экстремально тяжелыми значениями  $\delta^{13}\text{C}$  на небольшой поддонной глубине: всего от 10 до 205 см ниже поверхности дна. Ранее их «изотопно-тяжелые» океанические аналоги поднимались при бурении на хребте Блейк Аутер (Matsumoto, 1989), континентальной окраине Каскадия (Kopf et al., 1995), Перуанском желобе (Thornburg&Suess, 1995) со значительно больших глубин, составляющих десятки и первые сотни метров.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ-16-05-00979, государственного проекта № 0345-2014-0009 ЛИН СО РАН, грантов 24404026 и 26303021 Японского общества развития науки (JSPS).

### Список литературы

Гольшев С.И., Черепнин А.В., Рожнев А.Н. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов нефтегазоносных отложений Сибири. *Геохимия*. 1981, № 8, с. 1216-1226.

Гранина Л.З., Клерке Ж., Каллендер Е., и др. Особенности донных осадков и поровых вод в районе гидротермального проявления на Байкале (бухта Фролиха) // *Геология и геофизика*. 2007. - Т. 48, № 3. - С. 305 - 316.  
Князева Л.М. Вивианит в донных илах озера Байкал // *Докл. АН СССР*. - 1964. - Т. 97, № 3. - 519-522.

Коллектив участников проекта «Байкал-бурение». Позднекайнозойская палеоклиматическая запись в осадках озера Байкал (по результатам исследования 600-м керна глубокого бурения) // *Геология и геофизика*. 2000. Т. 41. № 1. С. 3-32.

Крылов А.А., Хлыстов О.М., Земская Т.И. и др. Формирование аутигенных карбонатов в грязевых вулканах озера Байкал // *Геохимия*. 2008. № 10. С. 1051-1062.

Bogowski W.S., Paull C.K., Ussler III W. Carbon cycling within the upper methanogenic zone of continental rise sediments: An example from the methane-rich sediments overlying the Blake Ridge gas hydrate deposits // *Marine Chemistry*. 1997. V. 57. P. 299-311.

Kopf A., Sample J.C., Bauer P. et al. Diagenetic carbonates from Cascadia Margin: textures, chemical composition, and oxygen and carbon stable isotope signatures. In: Carson B., Westbrook G.K., Musgrave R.J., Suess E. (Eds.) *Proc. ODP, Sci. Results*, 1995. V. 146 (Pt. 1). P. 117–136.

Krylov A., Khlystov O., Zemskaya T., Minami H., Hachikubo A., Kida M., Shoji H., Naudts L., Poort J., Pogodaeva T.P., First discovery and formation process of authigenic siderite from gas hydrate-bearing mud volcanoes in fresh water: Lake Baikal, Eastern Siberia // *Geophysical Research Letters*, 2008, vol. 35, L05405, doi:10.1029/2007GL032917.

Krylov A.A., Khlystov O.M., Hachikubo A., et al. Isotopic composition of dissolved inorganic carbon in the subsurface sediments of gas hydrate-bearing mud volcanoes, Lake Baikal: Implications for methane and carbonate origin // *Geo-Marine Letters*, 2010, v. 30 (3/4), 427-437, doi:10.1007/s00367-010-0190-2.

Krylov A.A., Khlystov O.M., Minami H., et al. (2016) The first discovery of authigenic rhodochrosite from the gas-hydrate-bearing mud volcano in Lake Baikal. In: Joint International conference Mineral of the Ocean-8 & Deep-Sea minerals and Mining-5. Abstracts. 13-16 June, 2016, VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia. P. 112-113.

Matsumoto R. Isotopically heavy oxygen-containing siderite derived from the decomposition of methane hydrate // *Geology*. 1989. V. 17. P. 707–710.

Sapota T., Aldahan A., Al-Aasm I.S. Sedimentary facies and climate control on formation of vivianite and siderite microconcretions in sediments of Lake Baikal, Siberia // *J. Paleolimnol.* 2006. V. 36. P. 245–257.

Thornburg T.M., Suess E. Carbonate cementation of granular and fracture porosity: implications for the Cenozoic Hydrologic development of the Peru continental margin. In: *Proc. ODP., Sci. Results*, 1990. V. 112. P. 95–109.

**«Подводное культурное наследие» как образовательный университетский курс.**  
**Фазлуллин С. М.**

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва*

*Российский государственный гуманитарный университет, Москва*

Подводная археология (ПА), как направление изучения объектов материальной культуры находящихся под водой, сформировалась в начале XX века. В 1900 году у острова Антикитера (Греция) были найдены остатки корабля 2 века до н.э., которые были подняты на поверхность при участии специалистов [1,2]. Помимо замечательных образцов греческого искусства, из-под воды был поднят неизвестный ранее механизм, который на десятилетия стал центром притяжения внимания многих ученых механиков и археологов [3]. Понадобилось сто лет ещё, прежде чем исследователи начали рассматривать затопленные объекты как «Подводное культурное наследие» (ПКН) и был введен в оборот документ ЮНЕСКО [4]. Сегодня, спустя 15 лет после принятия Конвенции о защите ПКН, её текст ратифицирован в 49 странах и в 6 объявили о намерении сделать это [6]. Ряд крупных морских стран, в том числе и Россия, пока не сделали это, объясняя это потенциальной угрозой своим национальным интересам. Но несомненно одно, эта Конвенция существенно повлияла на весь дальнейший ход изучения объектов материальной культуры, которые при различных обстоятельствах были поглощены водой. И в первую очередь это относится к той части Конвенции, которая дает универсальные рекомендации к подходам по изучению и сохранению ПКН.

В отличие от, сложившегося к началу 1960-х годов, подхода к подводной археологии, как одном из методов археологии, Конвенция ЮНЕСКО 2001 года стала трактовать объекты, находящиеся под водой как «Наследие». Этот подход отличается тем, что рассматривает объекты под водой как совокупное достояние цивилизации, которое требуется изучать, сохранять, актуализировать и музеефицировать. Во взаимодействии с водной стихией формировалась и оттачивалась творческая мысль строителя, корабелов, мореплавателей. И в новом качестве передавать следующим поколениям жителям Земли, как один из примеров достижений человеческой цивилизации.

ЮНЕСКО с самого дня подписания Конвенции, обращало внимание на систему подготовки специалистов в области изучения и охраны ПКН, особенно в странах, где соответствующие научные школы ещё не сложились либо отсутствовали вовсе. В тексте Конвенции по этому поводу говорится:

*Статья 21 – Подготовка в области подводной археологии*

*Государства-участники сотрудничают в подготовке специалистов в области подводной археологии, в разработке методов консервации подводного культурного наследия и, на согласованных условиях, в передаче технологий, относящихся к подводному культурному наследию.*

*VII. Научная компетентность и квалификация*

*Правило 22. Деятельность, направленная на подводное культурное наследие, осуществляется только под руководством и контролем, а также при регулярном присутствии квалифицированного специалиста по подводной археологии, научная компетентность которого соответствует проекту.*



*Правило 23. Все лица, входящие в состав группы, осуществляющей проект, обладают квалификацией и подтвержденной компетентностью, которые соответствуют их функциям в рамках проекта.*

Начиная с 2008 года ЮНЕСКО проводит региональные мероприятия по повышению квалификации и обучению специалистов в области ПКН. Вначале это были встречи, на которых обсуждалась проблема и ставились задачи по изучению и сохранению ПКН в регионе, а затем проводились и обучающие семинары [6]. Иногда в этих семинарах участвовали люди, которые никогда ранее не использовали подводное оборудование [7]. Эти учебные сборы проводились в Таиланде, Бангладеш, Шри Ланке, Турции, Австралии, Мексике, Хорватии, Нигерии, Камбодже, Кубе, Франции и т.д. За это время было подготовлено более 400 специалистов из 80 стран. Тем самым был создан международный каркас организаций и специалистов, которые активно продвигают принципы сохранения ПКН заложенные в Конвенции 2001 года.

Одновременно с региональными усилиями стала развиваться система подготовки любителей волонтеров в рамках деятельности НКО. В 2013 году начал работать консультативный комитет некоммерческих организаций при Секретариате Конвенции 2001 года [8]. Многие из них модернизировали уже имевшиеся курсы подготовки волонтеров для изучения ПКН или ввели их в программу своей деятельности [9]. В настоящее время в этот комитет входят 13 некоммерческих организаций из семи стран, а также Всемирная Конфедерация Подводной Деятельности (CMAS). Большинство волонтеров, участвующих в подводно-археологических проектах готовятся по образовательным программам CMAS и NAS (Подводно-археологическое общество, Великобритания).

Параллельно активизировалась взаимодействие университетов, в которых проводились исследования в области ПА [10]. Четыре университета из Дании, Египта, Турции и Великобритании, которые развивали научное направление «подводная археология» в 2012 году создали международную университетскую образовательную сеть «The UNITWIN Network for Underwater Archaeology». В Задачу этой сети входит координация между заинтересованными университетами по подготовке подводных археологов и оперативное распространение существующих технологий в этой сфере. На момент написания этого материала в эту сеть входили университеты - 9 членов, 9 ассоциированных членов и три наблюдателя из Дании, Египта, Турции, Великобритании, Германии, Испании, Кипра, Японии, США, Ливана, Австралии, Польши, Франции, Италии, Словении. Сеть имеет огромный потенциал и есть все основания предполагать, что её роль станет определяющей после того, как в целом закончится начальный этап формирования международного каркаса по изучению и сохранению ПКН.

Параллельно с приведенными общественно-научными практиками, Секретариат Конвенции ЮНЕСКО 2001 г. поддержал создание в Хорватии в 2007 году Международного центра ЮНЕСКО по ПА. Этот центр сосредоточил свою работу на двух образовательных направлениях: 1) подготовка по курсу «Практическая подводная археология: поиск и раскопки», и 2) подготовка по серии курсов «Консервация предметов, поднятых из-под воды». Второе направление этого Центра является наиболее востребованным, поскольку опыт организации работ по консервации предметов из морской воды есть у ограниченного количества стран. Центр организует различные научные стажировки в течении всего года и подготовил уже более ста специалистов для двенадцати стран [11].

Что касается России, то в той или иной форме подводно-археологические исследования начали проводиться с конца 19 века. Основополагающий вклад в становление этого направления в нашей стране внесли профессора Гриневич Константин Эдуардович (1891 – 1970), Орбели Рубен Абгарович (1880 – 1943) и Блавацкий Владимир Дмитриевич (1899 – 1980). Детально история этого научного направления приводится в книге д.и.н. А. В. Огорокова [12], где выделяются несколько этапов этого процесса вплоть до 1991 года. К слову сказать, несмотря на потрясающую историю становления наземной археологии в нашей стране, ПА в силу ряда причин так и осталась своеобразной научной «золушкой». И если бы не тысячи любителей подводного спорта, которые участвовали в подводно-археологических экспедициях в качестве волонтеров, привозя всю водолазную технику с собой, вряд ли можно было бы чего-то писать по этому поводу.

Относительно прохладное отношение к направлению ПА со стороны организаторов науки свидетельствует относительно скромное количество написанных диссертаций. В стране за все время не было защищено ни одной докторской диссертации по этому направлению! Из тех, кто защитил кандидатские диссертации, можно упомянуть следующих авторов: Петерс Б. Г. «Морское дело в Древней Греции». 1968 г., Агбунов М. В. «Античная география Северо-Западного Причерноморья». 1984 г., Огороков А. В. «История изучения и охраны отечественного подводного культурного наследия» 1993 г., Таскаев В. Н. «Торговый и военный флот античных государств Северного Причерноморья», 1993, Лебединский В. В. «Новые методы изучения истории: письменные и изобразительные источники по истории Египта и подводная археология», 2000 г., Степко Л. А. «Музейная коллекция морских якорей как носитель историко-культурного наследия народов Азово-Черноморского бассейна», 2004 г.

К настоящему времени в области ПА и сохранении ПКН в нашей стране наблюдается следующее:

- не существует национальное законодательство определяющего статус ПКН и работы с ним, равно как термина «подводное культурное наследие»;
- наша страна не подписала конвенцию ЮНЕСКО 2001 г. И не может имплементировать в своё законодательство необходимые для защиты ПКН юридические положения;
- на территории РФ нет ни одного музея, посвященного ПКН;
- на территории РФ нет ни одной специализированной лаборатории, которая могла бы проводить консервацию объектов ПКН;
- нет ни одного университета, где преподавался бы курс ПА;
- не существует на государственном уровне программ, посвященных изучению и сохранению ПКН.

Начиная с 2000 года только Конфедерация подводной деятельности России прилагала какие-либо усилия по поддержке направления по изучению и сохранению ПКН. Эти усилия сводились к следующему: 1) КПДР организовывала и поддерживала ряд проектов по ПА на Иссик-Куле, Балтике, Черном море и Каспии; 2) КПДР практически ежегодно проводила конференции по направлению ПКН (девять конференций и круглых столов) и издавала материалы этих конференций [13,14,15], всячески поощряя специалистов в этой области номинацией в рамках Национальной премии «Подводный мир» [16]; 3) КПДР поощряло проведение в РФ семинаров по подводной археологии для любителей, которые были подготовлены Всемирной конфедерацией подводной деятельности. При поддержке КПДР

была подготовлена и издана рукопись А. В. Огорокова «История отечественной подводной археологии».

Начиная с 2011 года вопросами ПКН заинтересовалась кафедра музеологии РГГУ, где с сентября того же года в программе бакалавриата стала преподаваться дисциплина «Охрана подводного культурного наследия» [17]. С 2016 года спецкурс по этому же направлению включен в программу магистратуры. Одновременно в перечень дисциплин по выбору вошёл курс Подводная археология, практические занятия по которому уже два года проводятся на Черном море. Научное направление по ПКН нашло своих последователей. Был защищен диплом специалиста И. Николаев) и диссертация магистра (А. Бадягина). Готовятся к защите две диссертации магистров и четыре кандидатских диссертации. По поручению Межведомственной комиссии по морскому наследию при Морской коллегии при Правительстве РФ [18] подготовлена магистерская программа «Морское и подводное наследие», которое будет доступна для освоения с сентября 2017 года.

В России существует свыше сотни музеев морской направленности, большинство из которых являются ведомственными. Как правило в этих музеях работают лица, чьё образование никоим образом не связано с Морским и подводным культурным наследием. Складывающаяся система подготовки кадров в этом направлении на Кафедре музеологии РГГУ призвана изменить существующие диспропорции.

## Ссылки

1. [http://www.softmixer.com/2012/12/blog-post\\_9410.html](http://www.softmixer.com/2012/12/blog-post_9410.html) (обращение 5 ноября 2016)
2. Michael A. Garrett Hanny's Voorwerp and the Antikythera Mechanism — similarities, differences and insights (англ.) // «From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients, Kerastari, Greece 12-15 June 2012» eds. A.K. Tzioumis et al; Proceedings of Science. — 2012.
3. P. Kabbadias, The Recent Finds off Cythera The Journal of Hellenic Studies, Vol. 21. (1901), pp. 205—208.
4. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001430/143085r.pdf> (обращение 5 ноября 2016)
5. <http://www.unesco.org/eri/la/convention.asp?KO=13520&language=E&order=alpha> (обращение 5 ноября 2016)
6. <http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001605/160525mo.pdf> (обращение 5 ноября 2016)
7. Фазлуллин С. М. Кузница подводных археологов // Предельная глубина, 2011, № 5, стр. 34-37
8. <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural-heritage/partners/partners-ngos/accredited-ngos/> (обращение 5 ноября 2016)
9. <http://www.cmas.org/science/standards> (обращение 5 ноября 2016)
10. <http://underwaterarchaeology.net/> (обращение 5 ноября 2016)
11. <http://www.icua.hr/> (обращение 5 ноября 2016)
12. Огороков А. В. История отечественной подводной археологии. КНОРУС. Москва. 2008. 160 стр.
13. «Развитие подводной деятельности в СССР и России. Материалы международной научно-практической конференции 18-19 декабря 2004 г.» Москва. 2006. с. 202.
14. Сборник материалов международной конференции «Подводное культурное наследие: перспективы изучения и сохранения в XXI веке», Великий Новгород, 2008, с.92

15. «ПОДВОДНАЯ АРХЕОЛОГИЯ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ», под научной редакцией д.и.н. А. В. Огорокова и к.г.н. С. М. Фазлуллина, сборник научных трудов, Москва, 2008, 286 стр.
16. <http://www.diver.ru> (обращение 5 ноября 2016)
17. <http://museolog.rsuh.ru/> (обращение 5 ноября 2016)
18. <http://www.maritime-heritage.ru/images/docs/Protocol-sevastopol-17%2007%202015-fin1.pdf> (обращение 5 ноября 2016)

**Heat flow anomalies on the Western Mediterranean margins and the possible role of fluid flow and salt tectonics: first results of the WestMedFlux-2016 cruise. Poort J., Lucazeau F., Le Gal V., Rabineau M., Battani A., Akhmanov G., Bouzid A., Palomino D., Dal Cin M., Leroux E., Giliazetdinova D., Ferrante G., Si Bachir R., Koptev A., Khlystov O., Tremblin M., Camerlenghi A, Aloisi G., Migeon S., Ercilla G. and the WestMedFlux scientific team.**

While there is now a large consensus that Western Mediterranean basins developed in a Miocene back-arc setting due to slab roll-back and that some of its domains are floored by oceanic crust, there is still a lot of speculation on the configuration, nature and evolution of its margins and the ocean-continent transitions (OCT). A thick Messinian layer of evaporites in the deep basin obscures deep seismic reflectors, and only recently seismic refraction and wide-angle studies revealed a confident picture of basement configuration. In order to further constrain models of crustal structure and margin evolution, heat flow is one of the key parameters needed. Recent heat flow studies on other margins have shown the existence of a persistent thermal anomaly under rifted margins that urges to reconsider the classical models of its evolution. The young age of OCT and ceased oceanic formation in the Western Mediterranean make it an interesting test case for a thermo-mechanical study of its margins. The presence of halokinetic structuring and salt diapirs urges the need of close spaced heat flow measurement to evaluate heat refraction and advective heat transfer by fluid migration.

During the WestMedFlux cruise on the research vessel L'Atalante in April/May this year we collected a total of 150 new heat flow measurement (123 in pogo mode, 27 with a sediment corer) in the deep basin of the Western Mediterranean where heat flow data were sparse. These data are aligned along several regional heat flow profiles crossing the OCTs of the Provencal basin and the Algero-Balearic basins, covering conjugated margins, divergent and oblique margins, transform faults and oceanic crust of different ages. Closely spaced measurements have been realized in several salt diapir and submarine mount areas. At 20 of the coring stations, pore water fluids have been extracted on board using rhizon sampling and gas was extracted using the head space method, while core description has been realized on board for 15 of the cores. Sub-bottom profiling, multi-beam data and ADCP have been collected along most of the cruise track, with water column multi-beam mode for a few selected areas.

Preliminary analysis of the heat flow data indicate the absence of a strong regional contrast between continental and oceanic domain, but shows the presence of important local heat flow anomalies, in particular on the south Balearic margin (a variation from 20 to 150 mWm<sup>2</sup> over a distance of only a few kilometers). Some of these thermal anomalies coincide with salt diapiric structures, others are located in the margin slope near the marginal fault systems. Further processing and pore water and gas analysis will help defining the source of these thermal anomalies, and to test if sub-salt fluid migration and post-Messinian salt deformation play a role in the creation of these anomalous surface heat flow patterns.

## Gas seepage in the Northern Adriatic Sea.

Ferrante Giulia Matilde, Donda Federica, Volpi Valentina, Tinivella Umberta

*OGS Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Trieste*

In the Northern Adriatic Sea, the occurrence of gas seepage has been widely documented. However, the origin of seeping gas was not clearly constrained. Geophysical data with different scale of resolution, i.e. multichannel seismic profiles, CHIRP and morpho-bathymetry data collected in 2009 and 2014 by OGS (Fig.1) reveal that several the gas-enriched fluid vents are deeply rooted (Donda et al., 2015). In fact, the entire Plio-Quaternary succession is characterized by widespread seismic anomalies represented by wipe-out zones and interpreted as gas chimneys. They commonly root at the base of the Pliocene sequence but also within the Paleogene succession, where they appear to be associated to deep-seated, Mesozoic-to-Paleogene faults (Fig.2). These chimneys originate and terminate at different stratigraphic levels; they also commonly reach the seafloor, where rock outcrops interpreted as authigenic carbonate deposits locally form as a consequence of active gas venting. In places, gas is then capable to escape in the water column as shown by numerous gas flares (Fig.2; Donda et al., 2015)

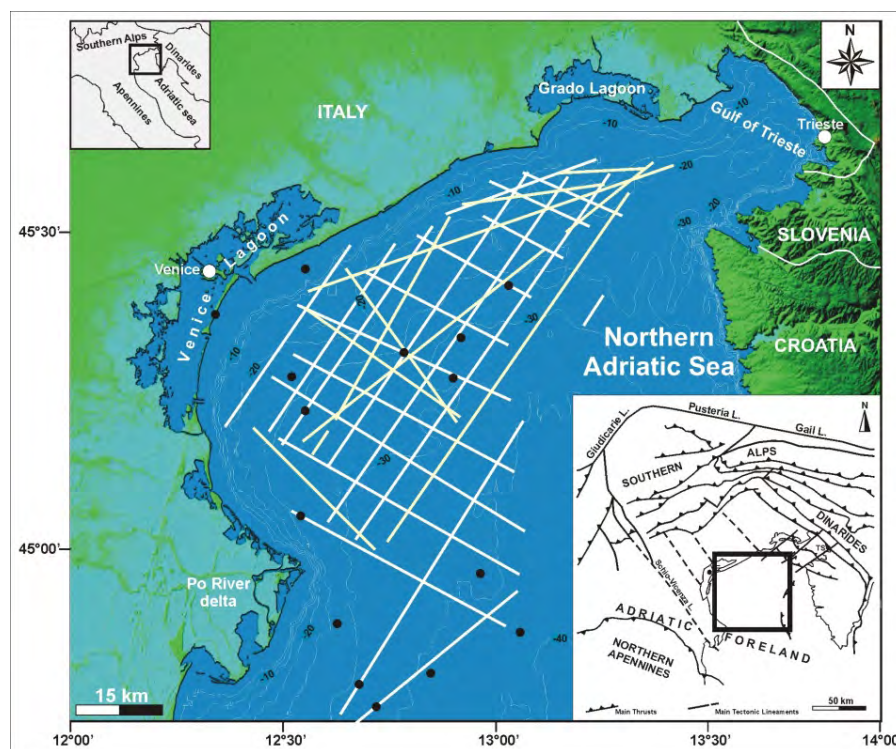


Fig. 1. Location map of the geophysical data collected. Black dots indicate hydrocarbon exploration boreholes. The inset at the lower right corner represents a sketch of the regional structural setting (modified after Donda et al., 2015).



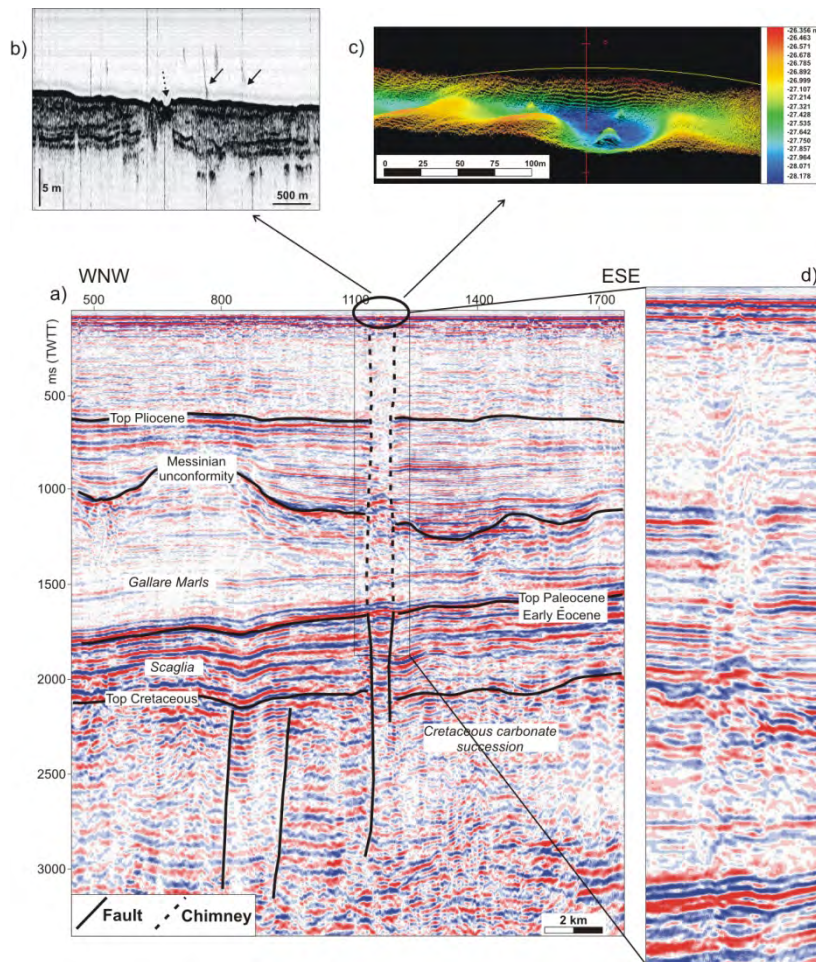


Fig. 2. a) part of a multichannel seismic line showing a chimney originating within the Paleogene succession just above sub-vertical faults and terminating at the seafloor b) CHIRP profile possibly showing a pockmark and bubble streams in the water column c) morpho-bathymetry data identifying a mound-shaped rock outcrop within the seafloor depression d) detail of the seismic section a) showing pull-up reflector configuration within the chimney, which may indicate sediment mobilization due to upward gas-enriched fluid migration (from Donda et al., 2015).

On going studies are addressed to: 1. re-examining the structural setting of the study area, in order to verify there is a structural control on chimney distribution and on gas migration; 2. perform geochemical analysis on gas which have been sampled in some, key emission points; 3. a quantitative analysis of some selected boreholes well logs (made available through the public VidePi database ([www.videpi.com](http://www.videpi.com))) aimed to estimate the amount of gas present in sediments.

This work presents the preliminary results regarding the latter aspect of our research. In a first instance, for each selected borehole the geophysical logs have been digitized. This procedure consists in a manual picking of curves, in a set system of reference. Static corrections for vertical offset are made at this stage. Logs are then divided by type and converted in common scales, amplifications and units. Every log is resampled in order to cut high frequencies not useful in the comparison with seismic data.

The estimation of gas requires a petrophysical characterization of sediments, but unfortunately the available wells not always provide all the information necessary for our investigations. Empirical relationships will be then considered, to estimate the unknown properties by means of the

available logs. To this aim, a first qualitative analysis has been done, to determine a possible correlation among the petrophysical logs and to identify a common trend in the investigated area. This analysis will provide useful information on the overall petrophysical characterization of the area and will be used in the validation of the estimated log properties. Next step will consist in an ad hoc processing of seismic data, applying a True Amplitude Recovery, that allows to keep the amplitude information unaffected, which is the first request in our analysis.

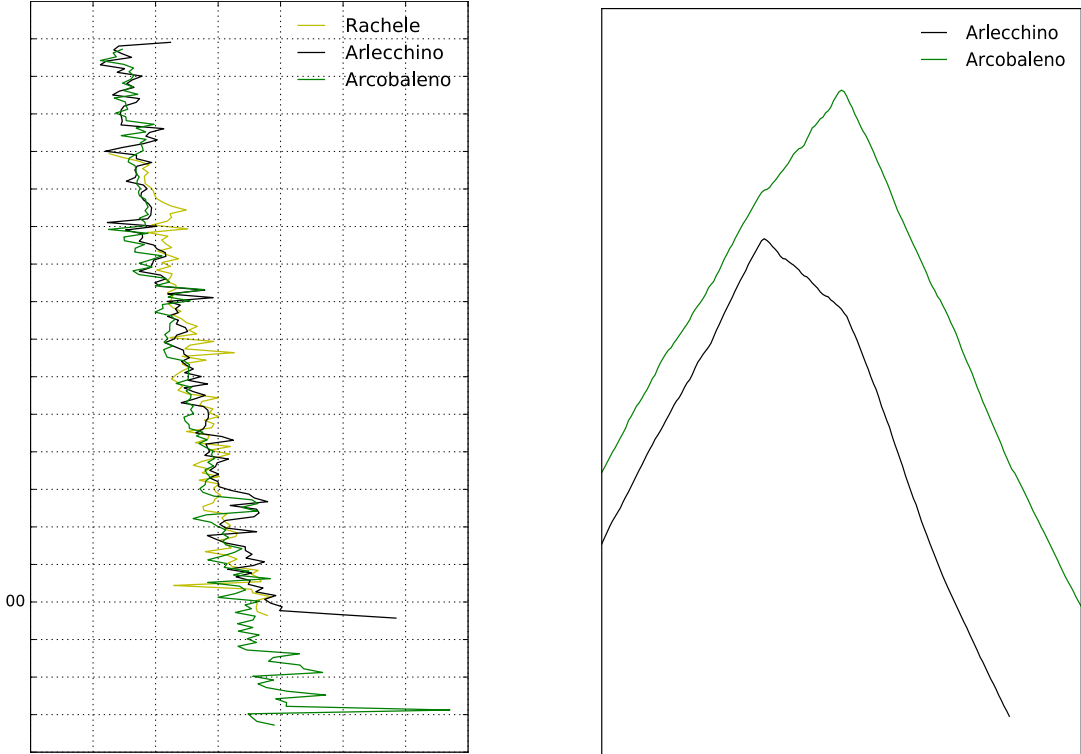


Fig. 3 On the left: Velocity logs of three of the selected boreholes: Rachele, Arlecchino and Arcobaleno. Note they show a similar behaviour. On the right: Cross-correlation between sonic log and gamma ray log in two different boreholes. Note the similar function shape suggesting the same relationship between sonic and gamma logs in both boreholes.

## **Выявление геологических опасностей в Арктических морях по данным трехчастотного сейсмического профилирования.**

**Терёхина Яна Евгеньевна<sup>1</sup>, Колюбакин Андрей Анатолиевич<sup>2</sup>, Росляков Александр Геннадиевич<sup>1</sup>, Токарев Михаил Юрьевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ им. М. В. Ломоносова»

<sup>2</sup>ООО «Арктический Научно-Проектный Центр Шельфовых Разработок»

Многолетнемерзлые грунты и газонасыщенные отложения представляют собой основные опасности при перспективном инженерно-техническом освоении шельфов Арктических морей – установке буровых платформ, прокладке подводных трубопроводов, инженерном обустройстве месторождений УВ, строительстве терминалов. Идентификация этих опасностей по сейсмическим данным является чрезвычайно актуальной задачей, особенно в связи с практически полным отсутствием других информативных геофизических данных и данных бурения по Арктическим шельфам. Сходство проявления ММП и газонасыщенных отложений в сейсмических волновых полях диктует необходимость разработки методики сейсмических исследований, нацеленных на повышение достоверности выявления и надежного разделения этих двух видов геологических опасностей. В настоящей работе излагаются принципы и приводятся примеры идентификации ММП и газонасыщенных отложений на примере сейсмических данных, полученных по трехчастотной методике в море Лаптевых в 2014-2015 годах.

### **Методика**

Работы выполнялись по системе региональных прямолинейных профилей большой протяженностью, при скорости судна 3.0 - 4.5 узла. Одновременно (за один проход судна) выполнялось пять различных видов геофизических и гидрографических методов, а именно:

батиметрическая съемка многолучевым эхолотом (МЛЭ);

гидролокация бокового обзора (ГЛБО);

непрерывное сейсмоакустическое профилирование в двухчастотном варианте (НСП);

двумерная сейсмическая заглубленная съемка сверхвысокого разрешения (ССВР);

двумерная сейсмическая съемка высокого разрешения (СВР).

Сейсмоакустическое профилирование выполнялось в трехчастотном диапазоне (Рис. 1):

б. параметрический профилограф – центральные частоты записи 8 кГц и 100 кГц.

электроискровой источник «Спаркер» с регистрацией на заглубленную 16-канальную косу (центральная частота сигнала в районе 500 Гц, полоса частот до 1 кГц).

акустический пневмоисточник «минипушка» с регистрацией сигнала на 96-канальную сейсмокосу (центральная частота сигнала в районе 200 Гц).

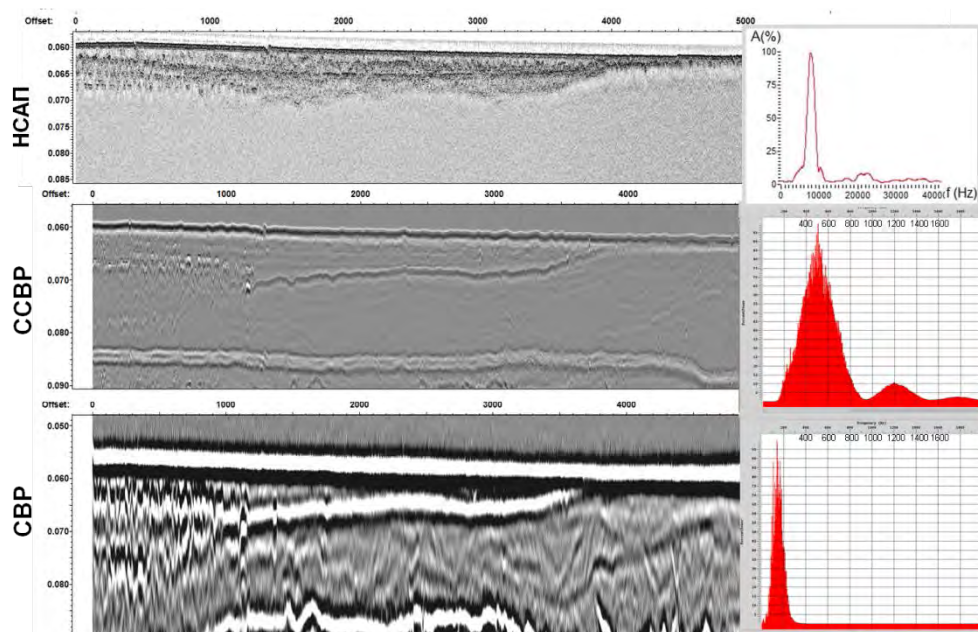


Рис. 12. Пример данных трехчастотного сейсмического профилирования.

### Интерпретация

Сейсмическое изображение поверхности газонасыщенных отложений имеет много общего с изображением кровли многолетнемерзлых пород. Обе эти поверхности характеризуются повышенными амплитудами отражений, неровным рельефом, краевыми дифракционными эффектами, могут располагаться резко дискордантно по отношению к отражениям от геологических слоев. При высокочастотных сейсмоакустических исследованиях обе поверхности почти всегда являются акустическим фундаментом, что не позволяет изучить нижележащую часть разреза. Различие этих толщ заключается в упругих свойствах: в многолетнемерзлых породах скорости упругих волн и плотность выше, чем фоновые, тогда как в газонасыщенных осадках наблюдается резкое понижение скорости упругих волн, соответственно коэффициенты отражений от этих поверхностей будут разного знака. В то же время, при применении только высокочастотных профилографов определить полярность отражений практически невозможно, поскольку используется огибающая сигнала.

Использование трехчастотных сейсмических исследований при работах 2014-2015 гг. позволило не только решить эту проблему, но получить и дополнительные преимущества при интерпретации. Заглубление приемного устройства (косы) при работе в среднечастотном диапазоне (ССВР) дало возможность избавиться от волн-спутников, что не только повысило вертикальную разрешающую способность, но и позволило более полно использовать динамические характеристики записи. В данной работе для идентификации газонасыщенных и мерзлых отложений применялись динамический анализ, детальный горизонтальный скоростной анализ и инверсия.

Газонасыщенные отложения проявляются на временных разрезах чаще всего в виде резкого увеличения амплитуд отражений отрицательной (обратной по отношению к донному отражению) полярности, вызванного возрастанием коэффициента отражения. Кроме того, могут наблюдаться эффекты частичного или полного экранирования газонасыщенными интервалами нижележащей части разреза, участки сильно нарушенной и хаотической волновой картины, потери высокочастотных составляющих спектра отраженного сигнала, запаздывание регистрации отражений от нижележащих границ (Рисунок 2).



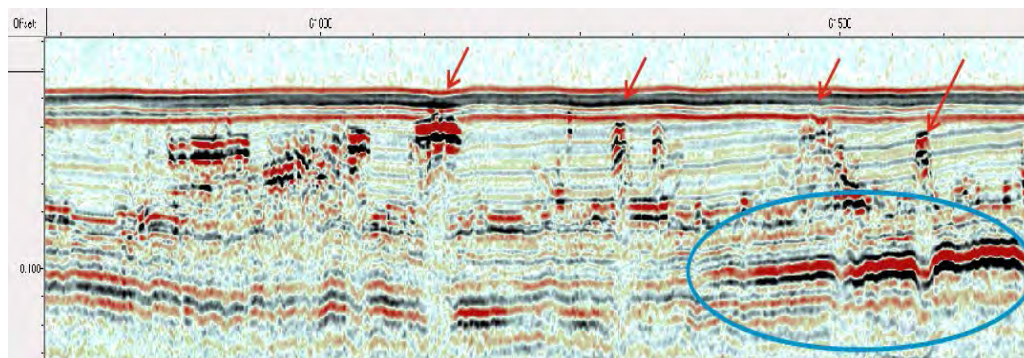


Рис. 13. Амплитудные аномалии, предположительно связанные с газом (синий овал и красные стрелки). Данные ССВР

На данных СВР и ССВР, в отличие от высокочастотных записей профилографа, мерзлые грунты не всегда образуют акустический фундамент и могут быть идентифицированы по следующим признакам:

7. высокоамплитудное отражение прямой (относительно донного отражения) полярности от кровли мерзлых грунтов.

8. резкое латеральное прекращение прослеживаемости границ и смена их хаотической или акустически прозрачной записью

9. наличие отдельных ограниченных по протяженности высокоамплитудных отражений как прямой, так и обратной, по отношению к донному отражению, полярности. Первые обусловлены наличием отдельных высокольдистых слоев при существовании стратиграфически контролируемой мерзлоты. Вторые – присутствием немерзлых (охлажденных) слоев, насыщенных жидким флюидом повышенной минерализации (криопэги), а также газонасыщенными прослоями.

10. наличие линз с акустически прозрачной или хаотической волновой картиной, в кровле которых фиксируется отражения с прямой полярностью, а в подошве - с обратной полярностью. Указанное распределение полярности отражений связано с существенным повышением скорости распространения упругих волн в мерзлых грунтах.

Дополнительным признаком существования в изучаемом районе ледового комплекса в приповерхностной части разреза является наличие погребенных термокарстовых впадин, большая часть которых выражена и в современном рельефе. Такие впадины характерны для кровли ледового комплекса на прилегающей суше. Обнаруженные на шельфе впадины были сформированы в субаэральных условиях во время позднеплейстоценового-раннеголоценового потепления климата, по-видимому, еще до затопления поверхности шельфа трансгрессирующим морем. На представленных фрагментах профилей ССВР хорошо видно резкое возрастание амплитуд донного отражения на участках, где предполагаемая кровля ледового комплекса выходит на дно (Рисунок 4). Такое увеличение амплитуд от кровли (при почти полном отсутствии внутренних отражений) может указывать на наличие мерзлых грунтов, характеризующихся повышенными скоростями распространения сейсмических волн. Кроме того, эти участки, как правило, образуют пологие, но явно выраженные поднятия в рельефе дна, тогда как термокарстовым котловинам соответствуют понижения рельефа. Все это подтверждает возможность и обоснованность интерпретации соответствующей части разреза как полифациальных отложений ледового комплекса сартанского (или муруктинско-сартанского) возраста, верхняя часть которого осложнена проявлениями термокарстовых процессов.

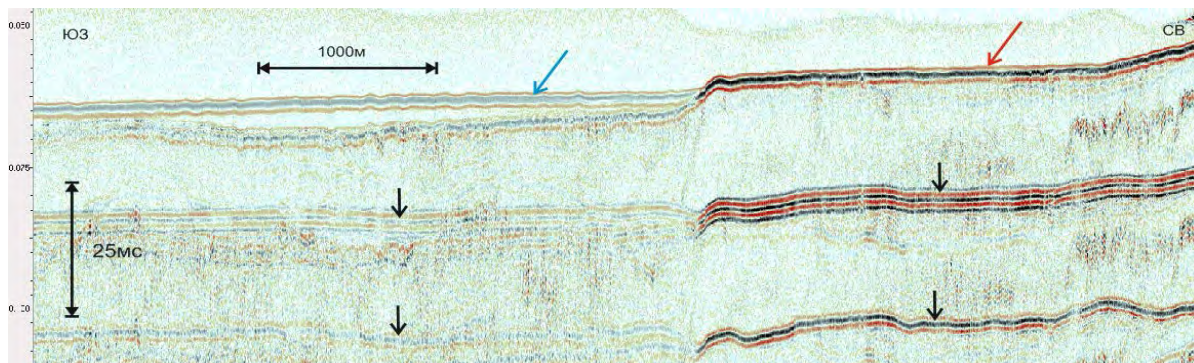


Рис. 14. Выраженность в современном рельефе участков выхода на дно отложений ледового комплекса и возрастание амплитуды донного отражения на этих участках (красная стрелка). Синяя стрелка – погребенная термокарстовая впадина. Черные стрелки – артефакты.

Наконец, высокочастотные исследования с параметрическим профилографом SES, а также привлечение данных батиметрии позволили детально изучить строение придонного осадочного слоя, характера заполнения впадин в рельефе кровли предполагаемых ММП (термокарстовых котловин), определить участки просачивания газа к поверхности дна (Рисунок 6).

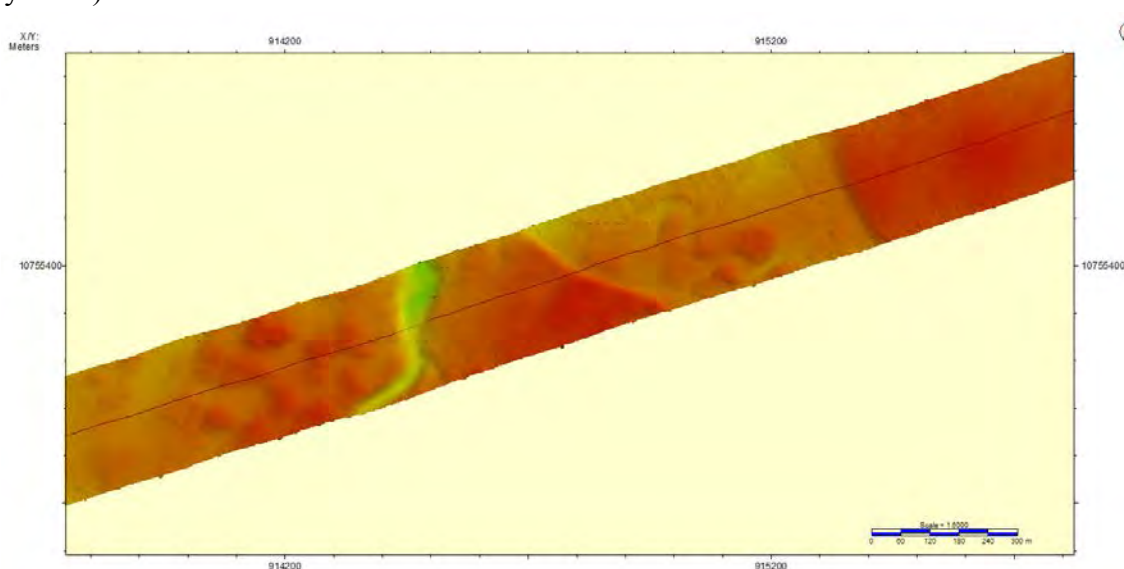


Рис. 15. Проявление реликтовых термокарстовых неровностей в современном рельефе дна.

## Выводы

Представленная технология гидрографических и сейсмических исследований в широком диапазоне частот от 50 Гц до 8 кГц позволила достичь оптимальных параметров съемки по глубинности и вертикальной разрешающей способности за один проход судна. Использованные технические средства обеспечили высокое качество наблюдений в трех частотных диапазонах, характерных для сейсмических работ высокого, сверхвысокого и ультравысокого разрешения в сейсмогеологических условиях моря Лаптевых. Применение методики сейсмических работ с заглубленной приемо-излучающей установкой позволило впервые применить методы динамического анализа и инверсии для сейсмоакустических данных в характерных для Арктического региона гидрометеорологических условиях. Кроме того, исключение волн-спутников, обеспечивающееся этой методикой, дает возможность определять упругие свойства осадков, что имеет первостепенное значение для достоверной идентификации газонасыщенных, гидратоносных и мерзлых отложений.



**Результаты трехлетних работ по программе изучения донных ландшафтов и палеогеографии позднечетвертичного времени на Ладожском и Онежском озерах. Рыбалко А.Е.<sup>1,2</sup>, Токарев М.Ю.<sup>2,3</sup>, Субетто Д.А.<sup>4</sup>, Корост Д.В.<sup>5</sup>, Локтев А.С.<sup>5</sup>, Алешин М.И.<sup>1</sup>, Егорова Н.В.<sup>2</sup>, Беляев П.Ю.<sup>2</sup>, Костромина Н.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – ЦАСД МГУ им. М.В. Ломоносова, <sup>2</sup> – Институт наук о Земле СПбГУ, <sup>3</sup> – МГУ им. М.В. Ломоносова, <sup>4</sup> – ИВПС КарНЦ РАН, <sup>5</sup> – Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова

В 2014 году Центр анализа сейсмических данных МГУ им. М.В. Ломоносова, Институт Водных проблем Севера Карельского научного центра РАН и Институт наук о Земле Санкт-Петербургского Государственного университета заключили соглашение о совместном проведении работ в Великих озерах Русской равнины Ладожском и Онежском в рамках неофициальной «Программы изучения донных ландшафтов и палеогеографии позднечетвертичного времени внутренних водных бассейнов по восточной периферии Балтийского кристаллического щита». До этого, данные коллективы провели детальные геолого-геофизические исследования в белом море, а также в восточной (русской) части Финского залива Белого моря. Выбор указанных озер как первоочередных объектов диктовался, прежде всего, меньшей степенью геолого-геофизической изученности, особенно геофизической, в то время как в Белом и Балтийском морях в последние годы были выполнены крупные проекты по изучению четвертичной геологии и геоморфологии. В 2016 году исполнилось три года этим инициативным работам и можно подвести некоторые итоги сотрудничества указанных организаций.

Первые работы были проведены в Ладожском озере в 2014 году и включали в себя многоканальное сейсмическое профилирование. Для проведения работ использовались: накопитель энергии CSP-P Applied Acoustic с рабочим напряжением 2500-4000V и мощностью 50-350J; электродинамический источник энергии типа «Бумер» с центральной частотой 2000 Гц; регистрирующая станция Spectrargo на базе 14-ти разрядного АЦП e440, с эффективной разрядностью 13,3 бита и максимальной частотой преобразования 400кГц; сейсмическая аналоговая шестнадцатиканальная коса с шагом 2 метра между приемниками; сбор данных сейсморазведки проводился в программном пакете Multichan в формате SEG-Y. Было выполнено несколько региональных профилей и откартированы два участка: в северной, глубоководной части озера и к северу от острова Коневец в районе, где германско-российская экспедиция выполнила первое в истории бурение дна Ладожского озера. В 2015 году геофизические работы были продолжены в южной части Ладоги, где по результатам интерпретации данных непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) прошлого года было установлено возможность получения высокоразрешающих записей, что позволило впервые провести интерпретацию не только условий залегания четвертичных отложений, но и проследить взаимоотношения между рифейскими и вендскими образованиями, слагающими коренной цоколь. Особенностью работ в 2015 году была их опытно-методическая направленность. Были использованы два типа источников: буммер и спаркер, а также несколько типов регистрирующих кос, в том числе и в заглубленном варианте. В 2016 году работы проводились на полигоне в Петрозаводском заливе Онежского озера. Задачами работ являлись детальное картирование опытного полигона, включающее непрерывное многоканальное высокоразрешающее сейсмоакустическое и гидролокационное профилирование, комплексный геологический пробоотбор, включающий детальное

литологическое описание, отбор проб на стратиграфический анализ и абсолютное датирование, томографию кернов, определение физико-механических свойств донных осадков и отбор проб на газы.

В настоящее время новые данные многоканального сейсмоакустического профилирования позволили более детально расшифровать особенности геологического строения южной части Ладожского озера. Были установлены особенности взаимоотношений рифейских и перекрывающих их вендских отложений, показано, что ледниковые отложения здесь сгруппированы в виде гряд и практически не имеют площадного распространения. Они практически отсутствуют в зонах плоского рельефа, где маломощный слой ледниково-озерных глин лежит непосредственно на коренном цоколе. Был подтвержден факт практического отсутствия голоценовых отложений, но и мощность ледниково-озерных отложений оказалась существенно меньше. Был подтвержден факт наличия комплекса ледниковых отложений в центральной части озера, которая может быть сопоставлена с Невской стадией (рис.1).

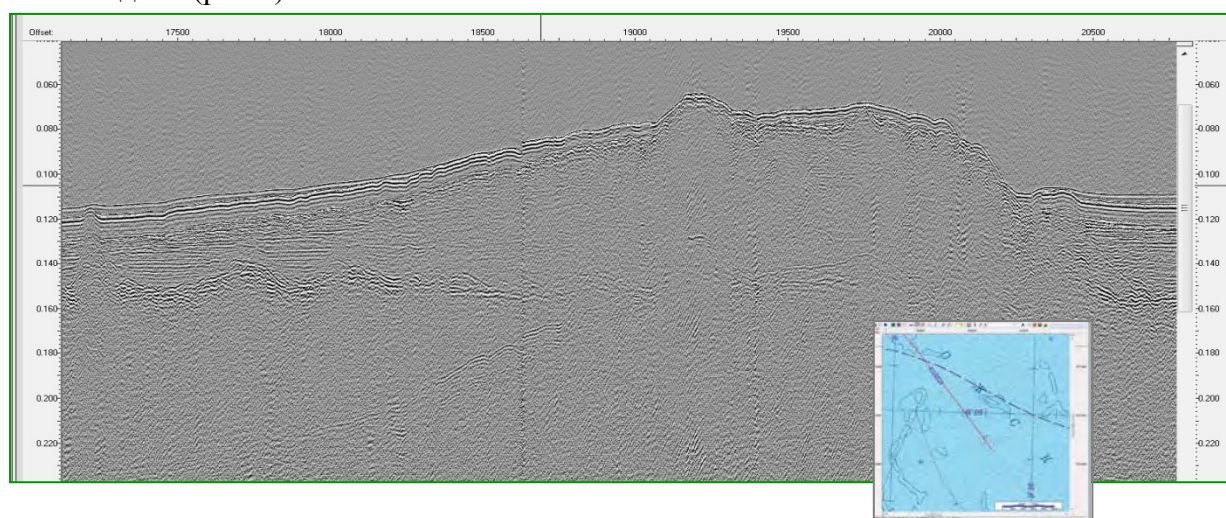


Рис. 1. Особенности строения гряд в центральной части Ладожского озера.

Однако, строение самих гряд оказалось более сложным, чем это предполагалось. В их ядре оказались коренные породы и сами гряды имеют структурно-ледниковое происхождение.

Одним из важных элементов строения северной глубоководной впадины (между Валаамским архипелагом и Сортовальскими шхерами) являются структурные гряды, часто являющиеся подводным продолжением аналогичных гряд на суше. Их относительная высота может достигать 80-100 и более метров, а особенности залегания четвертичных отложений, в частности, резкое смещение горизонтов ледниково-озерных глин, позволяет сделать вывод о тектонических подвижках в собственно голоценовое время. Именно здесь был отмечен факт резкой изменчивости мощностей надледниковых отложений. При этом кулисообразное расположение разновысотных блоков сочетается со смятием донных осадков у подножия этих структурных гряд (рис.2)

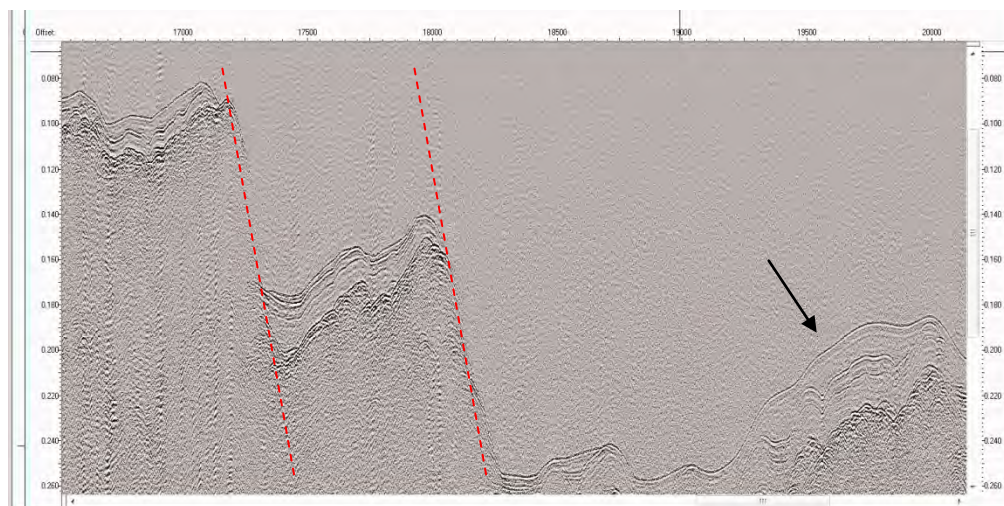
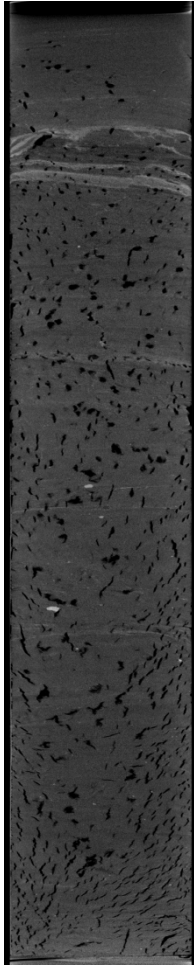


Рис. 2. Структурный рельеф в северной части Ладожского озера. Стрелкой показан блок оползших осадков, сдвинутый в сторону во время голоценовых тектонических движений.

О молодости геодинамических движений говорит и факт выявления молодых оползневых структур в Коневец-Приозерском вдольбереговом желобе. Эти материалы свидетельствуют и о наличии геодинамических проявлений к югу от Валаама, т.е в собственно платформенной части озера. В тоже время сам разрез четвертичной толщи представляет собой типичный гляциоседиментационный цикл, который последовательно сложен (сверху вниз) озерными голоценовыми, ледниково-озерными верхнее-неоплейстоценовыми и подстилающими их во впадинах толщи неустановленными по данным бурения осадками существенно песчанистого состава (судя по «рассеянному» характеру записи) мощностью около 5-8м. Они залегают в неровностях «акустического фундамента», который, скорее всего, представлен моренными осадочными образованиями. Признаков подморенных отложений в этом районе не было выявлено. Принципиально новым является факт установления поп-марков и других форм выделения газов в ладожской котловине

Новая форма исследования, а именно подробное изучение ключевых участков было предпринято в Онежском озере. Проведенные в 2016 году исследования позволили детально провести литостратиграфическое расчленение толщи надледниковых четвертичных отложений. Были последовательно выделены (сверху вниз): 1) озерные нефелоидные отложения средне-верхнеголоценового возраста, озерные нефелоидные отложения среднеголоценового возраста, озерные нефелоидные отложения нижнеголоценового возраста, лимногляциальные отложения осташковского возраста (верхняя и нижняя пачки). Для этих отложений впервые для всех периферийных внутренних бассейнов Северо-Запада России были выполнены томографические исследования, позволяющие детально охарактеризовать текстурные особенности позднечетвертичных осадков (рис.3).



К новым видам исследований можно отнести и характеристику геотехнических свойств донных отложений, что открывает перспективы для планирования инженерного освоения дна озера и даст дополнительную характеристику особенностям озерного седиментогенеза. Важным элементом описываемых работ является активное привлечение к ним студентов Московского и Санкт-Петербургского государственных университетов как на стадии полевых, так и камеральных работ. К настоящему времени по материалам геолого-геофизических наблюдений защищены 1 магистерская и 5 бакалаврских, а также несколько курсовых работ.

Работы были проведены при поддержке грантов Санкт-Петербургского университета.

Рис. 3. Томография вертикального разреза трубки ONG-2016-8 из Онежского залива.

## **СЕКЦИЯ: МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ**

## **Сейсмографическая и новейшая геология Арктики.**

**Хортов Алексей Владимирович, Мутовкин Александр Дмитриевич**

*Институт океанологии РАН им. П.П. Ширшова*

Арктические акватории Земли составляют Северный Ледовитый океан (СЛО) в составе океанической Евразийской акватории, Амеразийского глубоководного бассейна (топодепрессии) внутреннего моря, разделенных подводным хребтом Ломоносова, шельфовые краевые моря в составе Баренцева, Карского, моря Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского, моря Баффина и Белого внутреннего моря.

Геофизические исследования, включающие сейсмоакустическое профилирование и сейсморазведку МОГТ, выполненные в последние годы различными российскими зарубежными научно-исследовательскими организациями на шельфах и склонах морей Арктики, а также в глубоководной части Северного Ледовитого океана, позволили установить связь между рельефом дна и глубинным строением акваторий, выходами метана и разломной тектоникой [1-8].

При проведении морских работ Институтом океанологии РАН им. П.П. Ширшова использовался акустический профилограф - узколучевой параметрический эхолот SES-2000«SES-2000 standard» (производство компании «Innomar Technologie GmbH», Росток, Германия), который является двухканальной акустической системой, состоящей из трех основных элементов: крепящейся к борту судна приемно-излучающей параметрической антенны, набортной рабочей станции и набортного блока-компенсатора качки MRU-H. Высокочастотный (100 кГц) канал используется как эхолот для батиметрической съемки. Низкочастотный (4-15 кГц) канал служит для зондирования донных отложений.

Сейсмоакустический комплекс «Геонт-шельф» включает:

- сейсмический накопитель энергии SPES-600;
- блок управления разрядом и блок высоковольтных конденсаторов;
- устройство ввода сейсмических сигналов PSA-1;
- забортную буксируемую часть: излучатель спаркера и приемную антенну (сейсмокосу).

Сейсмический накопитель энергии предназначен для накопления на конденсаторах высоковольтной электрической энергии и последующего быстрого разряда энергии в электроискровой или электродинамический излучатель упругих колебаний при сейсмических исследованиях на акваториях.

Его основные характеристики:

- рабочее напряжение до 5 кВ;
- рабочая емкость до 290 мкф;
- потребляемая мощность до 3кВА.

По результатам сейсмостратиграфических исследований, в основу которых были положены материалы высокочастотного профилирования, выполненного специалистами ИО РАН и ГИН РАН, в сочетании с материалами МОГТ, выполненных ОАО «МАГЭ», ОАО «СМНГ» и ОАО «ДМНГ» позволили установить, что основные формы рельефа морского дна обнаруживают прямую связь с глубинными тектоническими структурами.

Геологической проверкой стратиграфической индексации отражающих горизонтов послужили опубликованные материалы инженерно-геологического и поисково-разведочного бурения для верхней части осадочного чехла, а для плаща покровных четвертичных



образований - данные донного пробоотбора ударными грунтовыми трубками с длиной керна до 6-10 м.

Геоморфологическое строение Баренцево-Карского, Лаптевоморского и Восточно-Сибирско-Чукотского регионов, а также Американско-Канадско-Гренландского шельфа и глубоководной части Северного Ледовитого океана тесно связано с режимом новейших вертикальных движений земной коры. Дизъюнктивная неотектоника этих регионов определяется системой крупномасштабных сбросов, отчетливо выделяемых в пределах континентального склона и его подножия.

Анализ несогласий и мощностей закартированных осадочных комплексов, погребенных форм палеорельефа, разломных зон, а также границ областей развития многолетнемерзлых пород позволил предположить высокоамплитудные вертикальные колебания дна в плейстоцен-четвертичное время. На рубеже плейстоцена и голоцена глубоководный Американо-Сибирский бассейн и Евразийская океаническая акватория были захвачены погружением, которое привело к образованию единой акватории под названием Северный Ледовитый океан.

Закономерности в строении осадочного чехла, рельефа дна и газопроявлений могут быть использованы для реконструкции истории развития Арктики, установления границ криолитозоны и определения признаков скопления углеводородов в глубоководных частях Северного Ледовитого океана. Установленная связь между закартированными в море Лаптевых, в Восточно-Сибирском, в Чукотском морях и в море Баффина выходами метана и зоной развития глубинных разломов обусловлена резким погружением дна Северного Ледовитого океана в позднечетвертичное время.

### **Список литературы**

1. Буценко В.В. Сейсмостратиграфическая датировка главных тектонических событий в Арктическом океане. *Геофизический вестник*, 2006, № 11, с. 8-16.
2. Виноградов В.Л., Горячев Ю.В., Гусев Е.А., Супруненко О.И. Осадочный чехол Восточно-Арктического шельфа России и условия его формирования в системе материк-океан. 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане (под. ред. В.Л. Иванова). СПб: ВНИИОкеангеологияю 2008, с. 63-78.
3. Гарагаш И.А., Лобковский Л.И., Шлезингер А.Е. Структура арктической глубоководной котловины Северного Ледовитого океана. *Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии*. Выпуск 4. М., ГЕОС, 2012, с. 11-29
4. Мороз Е.А. и др. Неотектоника северо-запада Баренцева моря. *Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии*. Выпуск 2. М.: ГЕОС, 2010. 210с.
5. Рекант П.В., Гусев Е.А. Признаки новейшей тектонических движений на Лаптевоморской континентальной окраине по данным сейсмоакустического профилирования. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2009, №2, с.85-94.
6. Хортов А.В., Ананьев Р.А. Международная арктическая экспедиция в 2014 году на научно-исследовательском судне «Оден». *Арктический вестник*, №1, 2015, с. 80-94.
7. Moran K., Backman J., Brinkhuis H. The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean // *Nature*, v. 441, No 7093, p. 601-606.
8. Jokat W. The sedimentary structure of the Lomonosov Ridge between 88°N and 80°N // *Geophys. J. Int.*, 2005, v. 163, p. 698—726.

## **Перспективы нефтегазоносности Баренцево-Карского региона РФ по результатам переобработки данных сейсморазведки.**

**Смирнов Олег Аркадьевич, Лукашов Андрей Викторович, Недосекин Антон Сергеевич, Фирстаева Елена Николаевна, Мельникова Мария Николаевна, Драцкий Владимир Николаевич**

*ООО "ИНГЕОСЕРВИС", г.Тюмень, г.Москва.*

### **Введение**

Шельф Баренцево-Карского региона является высокоперспективной территорией для наращивания ресурсной базы РФ и вовлечения его в разработку. Низкая изученность бурением и его высокая стоимость предполагает, что данные сейсморазведки всегда будут приоритетными при изучении геологического строения и оценке перспектив нефтегазоносности осадочного чехла. Целью данного доклада является показать новые возможности, которая открывает переобработка сейсморазведки 2D при изучении новых нефтегазоносных провинций шельфа РФ.

### **Обработка морских сейсмических данных 2D**

Исходные сейсмические данные были получены при отработке фланговой системой наблюдения с 336 активными каналами, шагом между каналами 12,5м, шагом ПВ 25м, минимальным удалением 113м, максимальным удалением 4300м. Основная проблема, которая возникает при работе с данными прошлых лет, это то, что системой навигационной привязки не предусмотрена фиксация положения гидрофонов, что не позволяет точно фиксировать положение точек ОГТ и снижает надежность скоростного анализа. Принимая во внимание это обстоятельство, подбирался оптимальный граф обработки, направленный на получение сейсмических временных разрезов с сохранением соотношения амплитуд в максимально широкой полосе зарегистрированных полезных частот и высоким соотношением сигнал/помеха. Временные сейсмические разрезы, полученные после обработки, характеризуются повышенной разрешающей способностью. На них хорошо отражено строение врезных палеодолин, характер заполнения осадков, а также множественные внутрiformационные нарушения.

### **Интерпретация**

В результате проведенных работ стало возможным выполнить интерпретацию сейсмических аномалий, связанных с наличием путей миграции УВ газов, а также выделить формы неоднородности осадочного чехла: участки вертикальной проводимости, разнопорядковые тектонические нарушения, покмарки, газогидратные тела, а также аномалии типа «яркое пятно» (Рис.1). Каждый элемент сейсмической интерпретации представляет отдельный интерес и в методическом, и в практическом плане. Комплексный анализ таких аномалий позволяет выявить новые перспективные объекты.

На сегодняшний день отсутствует практика вовлечения в интерпретацию и построение поисковой модели с учетом различных сейсмических артефактов, связанных с проявлением в сейсмическом поле признаков неоднородной вертикальной проницаемости осадочного чехла в виде «каналов», «труб», зон отсутствия акустического сигнала и т.п. Однако в настоящее время накапливается все больше и больше данных как в России, так и за рубежом

практического применения сейсмических данных высокого разрешения для решения нефтегазопроисловых задач и расшифровки картины миграции УВ.

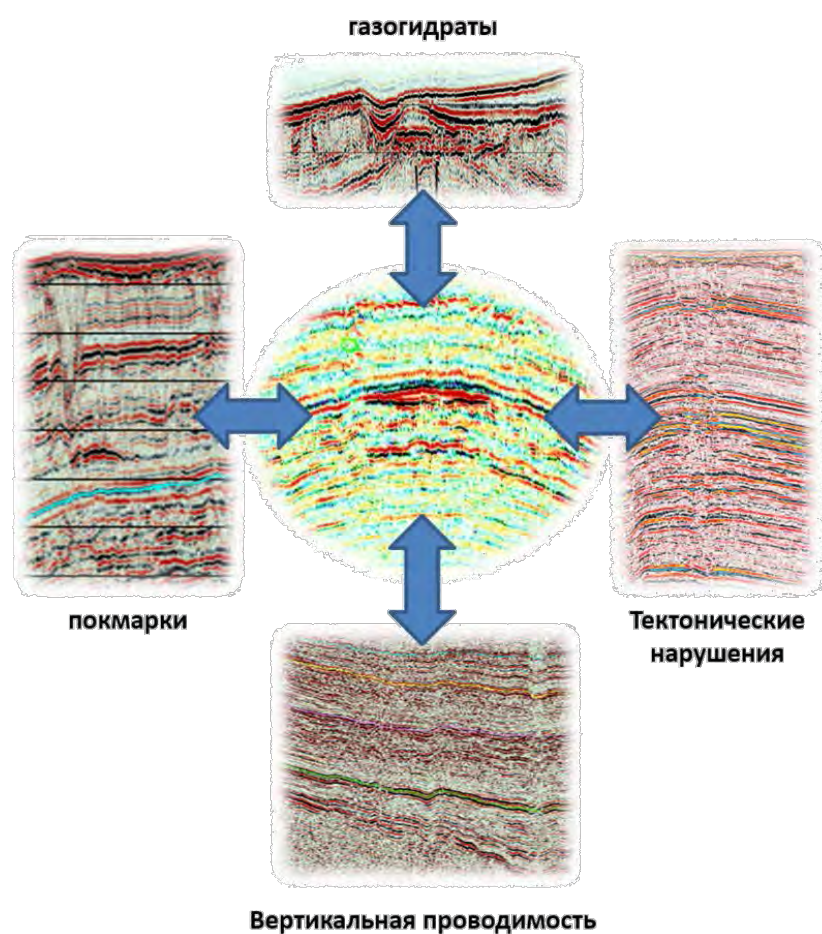


Рис. 3. Интерпретация сейсмических аномалий, связанных с наличием газа в разрезе Баренцево-Карского региона.

На временных сейсмических разрезах Баренцево-Карской акватории находят отражение многочисленные вертикальные, сравнительно, узкие зоны отсутствия акустического сигнала, распространенные, преимущественно в мезозойских и кайнозойских отложениях. Как правило, в верхней части этих каналов выделяются аномалии типа «яркое пятно», отождествляемые с газовыми «карманами», сформировавшимися в результате миграции УВ газов вверх по разрезу и концентрации их в пределах распространения локальных покрывок. Как правило, эти аномалии имеют различную протяженность и расположены над крупными газовыми залежами.

В случае достижения УВ поверхности морского дна происходит выброс газа с образованием покмарков (англ. Rockmark- «выбоина»). Модель образования покмарков была впервые описана в работе Нovland и Judd в 1988г. Дальнейшее развитие изучения покмарков отражено в работах Allen M.Gontz (1999г). На сегодняшний день различают современные и погребенные покмарки, причем вторые представляют особый интерес для реконструкции и хронологии миграции УВ.

Одним из результатов миграции УВ является заполнение газом рыхлых неоген-четвертичных отложений с формированием газонасыщенной толщи, в пределах которой впоследствии при благоприятных термобарических условиях (низких температурах и высоких давлениях) образуются газогидраты. Сейсмический образ, который формируется

газогидратным телом, в изучаемом регионе отличается от установленного в других регионах мира и известен как BSR (Bottom Symulation Reflector). Крайне неустойчивое соединение газов и воды в сейсмическом поле атрибутов дает неуверенно интерпретируемую картину. Газогидраты часто рассматривают как поисковый признак наличия крупных скоплений УВ на данной территории. Свойства газогидратов являются и источником серьезных инженерных проблем при строительстве буровых платформ и эксплуатации морских месторождений. Хрупкое метастабильное равновесие газогидратов может легко нарушиться и привести к высвобождению большого количества метана и воды.

Сейсморазведочные работы 2D, проведенные в акватории Карского и Баренцева морей позволили выявить аккумуляцию промышленных скоплений газа в меловых отложениях, сформированных в результате вертикальной миграции УВ. Помимо этого, в верхней части разреза зафиксированы области распространения газогидратов, которые на сегодняшний день воспринимаются альтернативным источником углеводородного сырья, опытно-промышленное освоение которого может начаться в ближайшие годы.

### **Выводы**

- В результате выполненных работ по переработке морских материалов сейсморазведки 2D получена новая геолого-геофизическая информация, которая существенным образом уточняет представления о механизме и масштабах вертикальной и латеральной миграции УВ.

- Выполненная интерпретация временных разрезов и расшифровка сейсмических аномалий, позволяет дополнить практику работы специалиста новыми методическими приемами, выполнить оценку перспектив нефтегазоносности недр, на более высоком уровне реконструировать историю развития осадочного бассейна, а также установить геологические признаки, указывающие на условия формирования залежей УВ.

- На примере показан способ применения покмарков как одного из индикаторов времени миграции УВ, а, следовательно, и заполнения ловушек УВ.

- Получаемый большой объем данных в результате сейсмогеологической интерпретации позволяет правильно оценить геологические риски, создать поисковую концепцию и разработать возможные сценарии геологоразведочного процесса.

## **Закономерности и критерии выявления АВПД по данным сейсморазведки в разрезе Южно-Карского осадочного бассейна.**

**Смирнов О.А., Зайцев А.Н., Лукашов А.В., Фирстаева Е.Н., Драцкий В.Н.**

*ООО "ИНГЕОСЕРВИС", г.Тюмень, г.Москва.*

### **Введение**

Традиционно под пластовым давлением ( $P_{пл}$ ) понимается давление флюидов в поровом пространстве пород, находящихся в условиях естественного залегания.

Для оценки степени отклонения пластовых давлений от гидростатического уровня используется коэффициент аномальности пластового давления  $K_a$ , представляющий собой частное от его деления на гидростатическое давление. По величине  $K_a$  выделяют повышенное пластовое давление (ППД), превышающее условное гидростатическое менее чем на 30% ( $1,3 > K_a > 1,0$ ), аномально высокое -  $K_a > 1,3$  (АВПД).

Очевидно, что величина пластового давления тесно связана с глубиной погружения пород –  $Z$ . Существенно и доказано путем эмпирических обобщений, что величина пластового давления оказывает влияние на многие физические свойства пород и в первую очередь на их пористость.

Не менее значимое влияние на поровое давление оказывают геотермические условия. Увеличение пластовой температуры приводит к расширению горных пород и насыщающих их флюидов, причем вода, нефть, газ расширяются в большей степени, чем минералы пород. В результате возрастания температуры объем флюидов возрастает более чем в 10-50 раз по сравнению с объемом порового пространства.

В этой связи, если поровое пространство пород-коллекторов ограничено, и отток флюидов затруднен, то рост температуры приводит и к росту пластового давления.

### **Прогнозирование пластового (порового) давления по каротажу**

Другим параметром, контролирующим степень влияния пластового давления на физические свойства пород и данные измерений каротажа в терригенном разрезе является глинистость и тип глинистых минералов.

Кроме того, разность горного и пластового давления контролирует скорость химических преобразований породообразующих минералов, характер контакта зерен пород тесно связанный со скоростью продольных и поперечных волн.

Перечисленные выше факторы позволяют формально записать, что поровое давление является функцией вышеперечисленных параметров.

$$P_{пл} = P(Z, T, PHI, Vcl, Lith), \quad (3.5)$$

где

$Z$  - глубина,  $T$  - температура,  $PHI$  - пористость,  $Vcl$  - глинистость,  $Lith$  – литология.

При этом изменение свойств пород с глубиной может быть описано разложением этой функции в ряд Тейлора (Б.Н.Еникеев, 2009г).

$$P_{пл}(Z_i) = P(Z_{i-1}, T_{i-1}, PHI_{i-1}, Vcl_{i-1}, Lith_{i-1}) + (\partial P / \partial Z) * (Z_i - Z_{i-1}) + (\partial P / \partial T) * gradT + (\partial P / \partial PHI) * grad(PHI) + (\partial P / \partial Vcl) * grad(Vcl) + \dots$$

Поскольку пластовое давление и температура влияют на многие физические свойства пород (в первую очередь на их сопротивление и интервальное время или скорости), аналогичным образом могут быть выписаны уравнения и для их изменения с глубиной.

Методы оценки аномалий порового давления обычно связаны с выявлением аномалий закономерного тренда изменения этих свойств с глубиной.

При этом для простоты обычно выявляют эти изменения для глинистых пород, поскольку для них варьирование величинами пористости и глинистости обычно менее значимо.

Все известные методы оценки АВПД (АВПоД) основаны на изучении графических зависимостей физических свойств глинистых пород от глубины их залегания. Зависимости закономерны в зоне нормально уплотненных горных пород, а в зоне АВПД (АВПоД) эти закономерности нарушаются, что и является качественным и количественным признаком аномальных поровых давлений (Добрынин В.М., 1989).

### **Прогнозирование пластового давления по данным сейсморазведки**

Для выявления зон ППД, АВПД по сейсморазведке обычно используют данные об интервальной скорости распространения упругих волн, полученные в результате обработки материалов сейсмического, акустического и/или плотностного каротажа. Данная методика основана на взаимосвязи пластового давления и средних скоростей с учетом изменения их с глубиной.

Для исследуемого (прогнозного) разреза подбирается геолого-литологический аналог, как правило, близлежащий изученный разрез, в котором нет АВПД, а величины  $R_{пл}$  распределены в соответствии с нормальным гидростатическим законом. Зонам АВПД будут соответствовать пониженные по сравнению с эталонными значения фактической скорости распространения упругой волны, полученные по данным сейсморазведки. Вторым вариантом расчета является использование регрессионных уравнений отражающих взаимосвязь пластового давления и средних скоростей с учетом изменения обоих факторов с глубиной.

Методика Итона (Eaton's method) является общепринятой методикой, применяемой для прогнозирования порового давления, и имеет следующий вид:

$$P_p = P_o - (P_o - P_h) \left( \frac{\Phi_n}{\Phi_a} \right)^E, \text{ где}$$

$P_p$  – поровое давление или градиент пластового давления;

$P_o$  – градиент геостатического давления;

$P_h$  – градиент давления для жидкости (воды);

$\Phi_n$  – нормализованная пористость для заданной глубины;

$\Phi_a$  – прогнозируемая (кажущаяся) пористость для заданной глубины;

$E$  – коэффициент Итона.

При отсутствии информации о значениях пористости, соответствующий член уравнения может быть заменен другими физическими характеристиками пласта, определяемыми в процессе бурения скважины или по каротажу (скорость проходки, плотность, электрическое сопротивление пород, температура, скорость акустических волн и пр.). При этом изменяется только величина коэффициента  $E$ .

Основными недостатками данного метода являются приблизительная оценка геостатического давления, существенно зависящего от конкретной геологической ситуации, и, эмпирический характер коэффициента, входящего в уравнение.

Для прогноза аномального пластового давления на территории слабоизученной бурением, был применен метод, основанный на связи между нормальным гидростатическим давлением и средней скоростью сейсмических волн, не требующий дополнительной априорной информации, кроме графика изменения скоростей по разрезу.

Основные теоретические предпосылки у данного метода такие же, как и в методе В. Eaton, они отличаются только способом пересчета величины отклонения наблюдаемого



параметра (средней скорости) от нормальных значений в единицы давления. В пределах зон нормального давления график зависимости скорости от глубины представляет собой прямую линию, соответствующую гидростатическому давлению, что позволяет перенормировать шкалу скоростей в шкалу давления, и оценить величину отклонения скорости от нормального тренда в единицах давления.

Продemonстрируем методику и технологию расчета ожидаемых пластовых давлений на примере одной из скважин, пробуренной на шельфе Карского моря. На рис. 1 представлен расчет тренда изменения пластового давления с глубиной, на основе которого выделены границы барических ступеней. Границы барических ступеней были выделены по точкам излома кривой средней скорости. На график вынесены точками значения давлений, которые были замерены при испытании объектов в колонне.

Глубина зоны АВПД (превышение пластового давления над гидростатическим на 30% и выше) прогнозируется на отметке примерно 3000 м и соответствует II барической ступени.

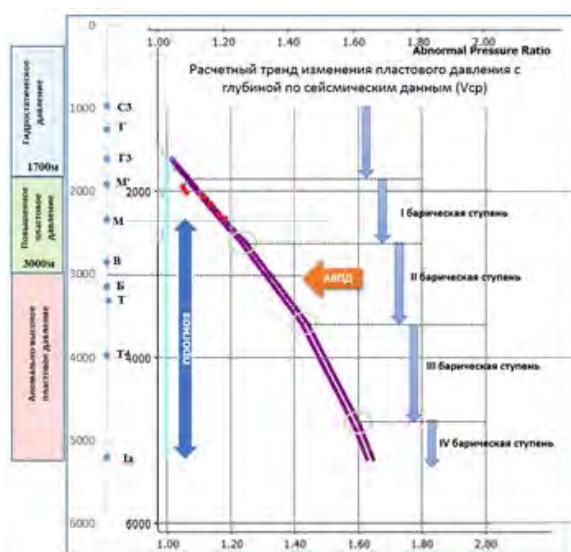


Рис.1. Расчет тренда изменения пластового давления с глубиной.

Стратиграфически данный уровень прогноза соответствует нижней части отложений неокома. Важно отметить, что к границе I и II барических ступеней приурочена верхняя граница скоростной аномалии, которая подчеркивается резким увеличением  $dt$  на временном разрезе и соответствует величине  $K_{ан}=1,25$  (рис.1 и 2).

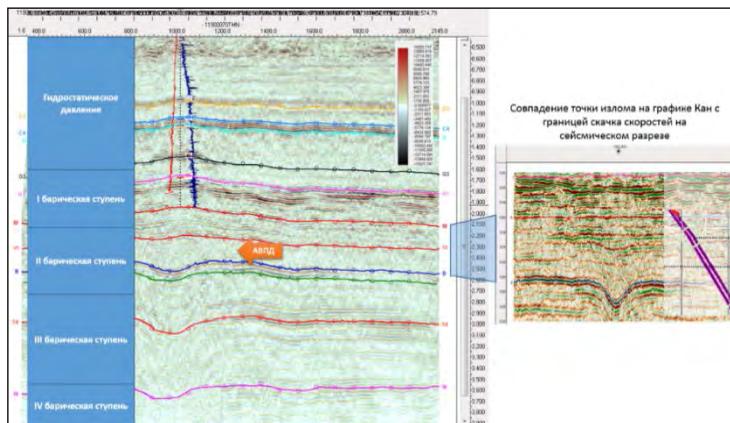


Рис.2. Интерпретация локальных скоростных аномалий на примере сейсмического разреза.

## **Возможности геомагнитных аэрокосмических исследований в проведении геолого-геофизического изучения Арктического нефтегазоносного бассейна.**

**Харитонов Андрей Леонидович**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В.Пушкова Российской Академии наук, Москва*

Арктический регион, по мнению таких исследователей как Архангельский А.Д., Обручев С.В., Рундквист Д.В., Лисицин А.П., Пушаровский Ю.М., Маловицкий Я.П., Погребницкий Ю.Е., Каминский В.Д. и многие другие, является очень перспективным для поисков и разведки месторождений различных минеральных ресурсов. Если анализировать Арктический регион с точки зрения наиболее актуальных углеводородных ресурсов то, известно, что Арктический регион часто называют Арктическим нефтегазоносным бассейном, в который входит как составная часть регион Северного Ледовитого океана, который выделяется по принципу речного стока, охватывающему обширные пространства окружающих материков вплоть до водораздельных хребтов. В этих границах Арктический нефтегазоносный бассейн представляется в виде огромной депрессии с закономерным наклоном усредненной поверхности земной коры от пограничных водоразделов к впадине Северного Ледовитого океана [1].

Российские шельфовые зоны Северного Ледовитого океана, по мнению многих специалистов, проводивших там исследования богаты такими полезными ископаемыми как, например, россыпных месторождений золота, олова и другие и, особенно, месторождений нефти и газа [2].

В современных условиях, когда имеются определенные экономические трудности и сложности с поставкой импортного оборудования для российских нефтегазовых компаний, самыми оперативными и относительно недорогими отечественными геофизическими методами поисков и разведки крупных месторождений углеводородов на акватории арктических морей могут быть геомагнитные аэрокосмические методы. Пример выделения региональных магнитных аномалий в пределах Арктического геодинамического региона по данным космического аппарата «MAGSAT» приведены на рис. 1.

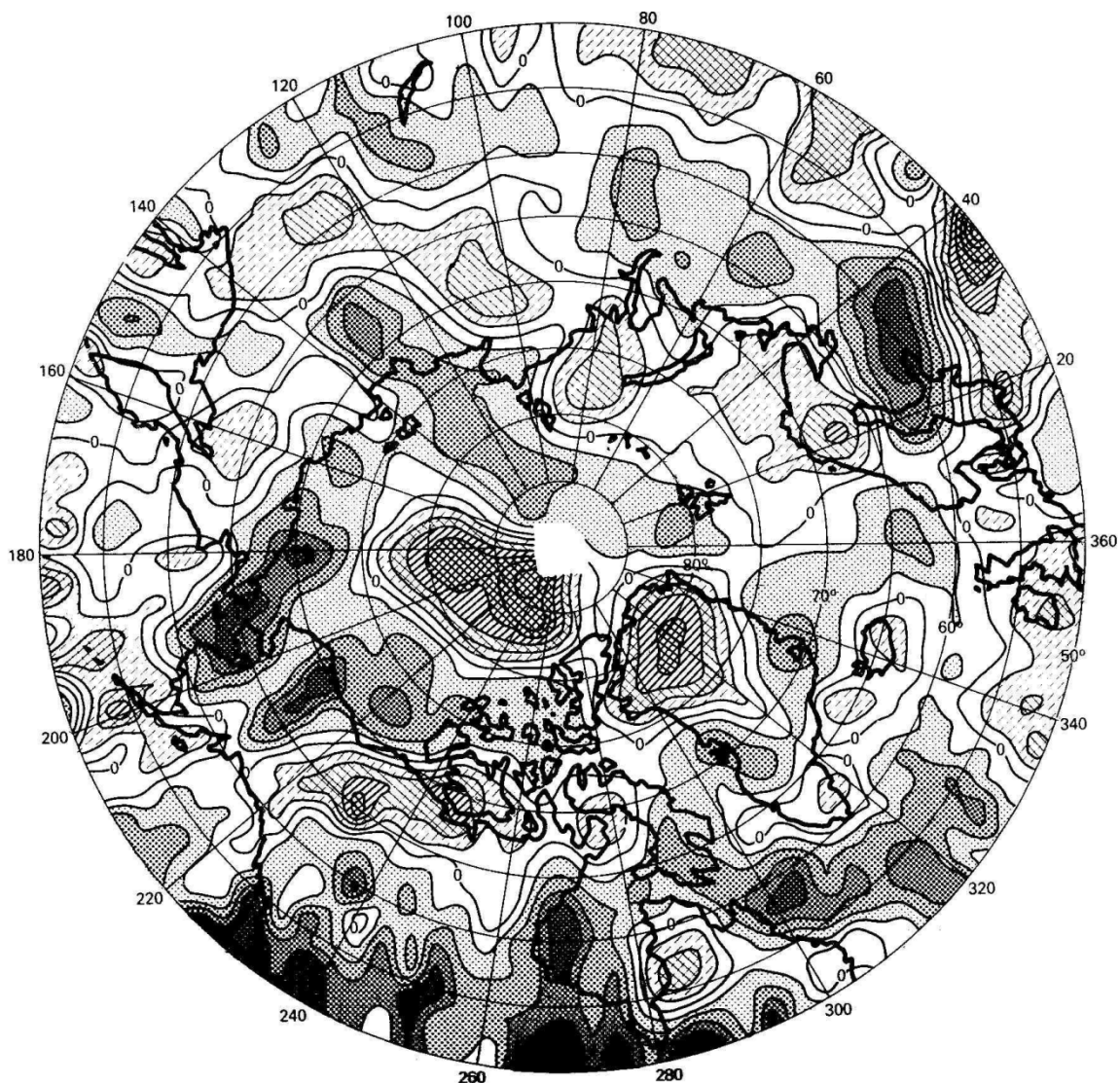


Рис. 1. Аномалии постоянного магнитного поля (аномалии вектора индукции магнитного поля Земли) Арктического нефтегазоносного бассейна по данным космического аппарата «MAGSAT». Жирная линия показывает положение береговой линии. Изолинии магнитного поля проведены через 2 нТл. Аномалии постоянного магнитного поля, заштрихованные темным цветом, соответствуют положительным значениям аномального магнитного поля, а светлыми тонами отмечены отрицательные аномалии магнитного поля [3].

Кроме того, российскими научными организациями (Каминский В.Д.- «ВНИИОкеангеология»; Трошичев О.А.- «АНИИ»; Фонарев Г.А., Трофимов И.Л., Шнейер В.С – «ИЗМИРАН»; ОАО «СЕВМОРГЕО» и др.) в разное время проводились геолого-геофизические исследования недр Северного Ледовитого океана с помощью дрейфующих полярных станций «Северный полюс-21» - «Северный полюс - 31», расположенных на льдинах и вдоль одиночных арктических геотраверсов и «Арктика-2000», «Арктика-2005», «Арктика-2007» на ледокольных судах, таких как атомный ледокол «Россия», а также с помощью полярной авиации вдоль сети параллельных профилей.

К сожалению даже самые мощные и лучшие в мире отечественные ледокольные суда с атомным двигателем могут относительно свободно перемещаться в пределах Северного Ледовитого океана лишь в осенне-летний период, в благоприятные годы. Поэтому только аэромагнитные [6] и космические магнитные съемки [7] могут осуществлять бесперебойные всесезонные длительные повторные измерения (в течение нескольких лет) всех ортогональных (H, D, Z) составляющих геомагнитного поля, которые можно использовать для изучения глубинного нефтегазоносного и геодинамического строения коры и мантии этого очень перспективного Арктического нефтегазоносного бассейна. Для математической обработки и геофизической интерпретации аэрокосмических данных была разработана система компьютерных программ (рис. 2), включающая различные современные спектральные [9], корреляционные [10] и другие методы анализа [11] измеренных цифровых данных, позволяющие исключать ошибки измерений и разделять измеренное поле на составляющие, связанные с различными физическими слоями геосфер Земли.

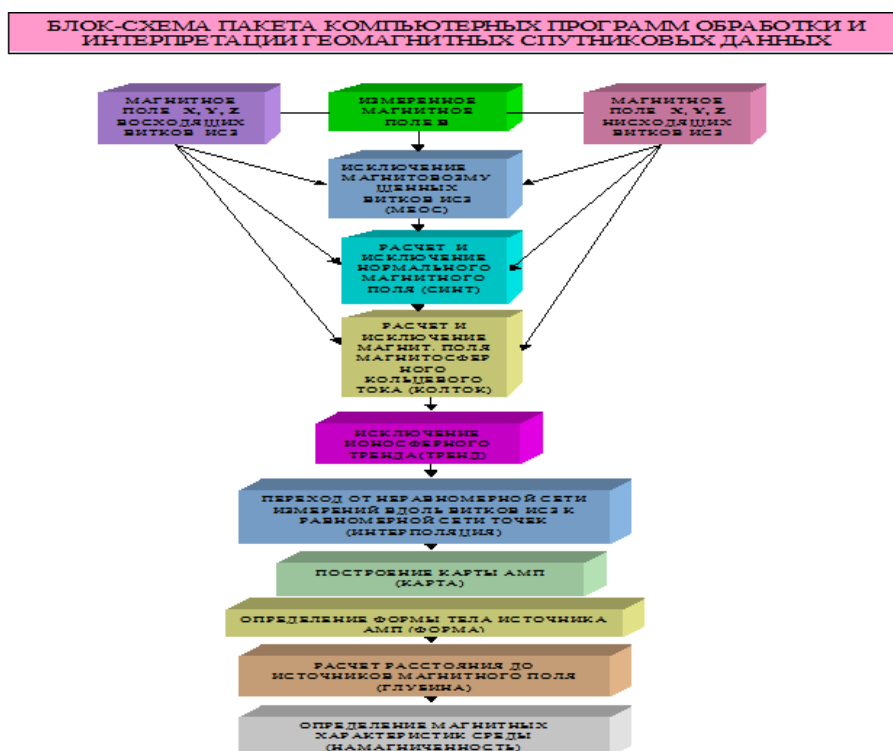


Рис. 2 Блок-схема компьютерных программ обработки аэрокосмических данных [8].

Однако, для проведения современных высокоточных геомагнитных геолого-разведочных аэрокосмических исследований на шельфе морей Арктического нефтегазоносного бассейна необходимо воссоздание сети полярных магнито-вариационных станций (МВС), расположенных на побережье Северного Ледовитого океана, позволяющих исключать ионосферно-магнитосферные помехи, возникающие при аэрокосмических съемках в Арктике [5]. Эти арктические магнитовариационные станции отлично работали в СССР на протяжении многих лет и восстанавливаются в настоящее время.

## Выводы

Для проведения на начальном этапе региональных исследований особенностей глубинного строения под акваторией Северного Ледовитого океана морей могут быть

использованы отечественные аэрокосмические методы (включающие данные наземных полярных магнито-вариационных станций) недорогие, относительно других геолого-геофизических методов (морская сейсморазведка, морская электроразведка) поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений на шельфе Арктических морей.

### Список литературы

1. Погребницкий Ю.Е. Геодинамическая система Северного Ледовитого океана и ее структурная эволюция // Советская геология. 1976. № 12. С. 3-22.
2. Langel R.A., Berbert J., Jennings T., Horner R. MAGSAT data processing: a report for investigators // Technical Memorandum 82160. NASA. 1981. 328 p.
3. Каминский В.Д. Глубинное строение Центрального Арктического бассейна // Автореферат на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. С-Петербург. 2009. 47 с.
4. Kharitonov A.L., Fonarev G.A., Serkerov S.A., Kharitonova G.P. The calculation of the topology of deep magnetic inhomogeneous of the Earth's mantle from geomagnetic satellite deep-sounding methods // Proceedings of the first international science meeting «SWARM». 3-5 May 2006. Nantes. France. WPP-261.
5. Салихов З.С., Арабский А.К., Кузнецов В.Д., Зайцев А.Н., Петров В.Г., Фомичев В.В., Трошичев О.А., Янжура А.С. Система контроля космической погоды для оценки технологических рисков на территории полуострова Ямал // Наука и техника в газовой промышленности. 2010. №4. С. 39-48.
6. Харитонов А.Л., Харитонова Г.П. Глубинное разломно-блоковое строение земной коры Восточной Сибири по аэромагнитным и гравитационным данным. Материалы 19-ой научно-практической конференции с международным участием «Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: современное состояние проблемы». 7-10 октября 2014 г., Воронеж. ИПЦ.: Научная книга. С. 425-430.
7. Харитонов А.Л., Хассан Г.С., Серкеров С.А., Фонарев Г.А., Харитонова Г.П. Использование комплекса спутниковых геофизических данных для изучения глубинных неоднородностей строения тектоносферы Земли в пределах Европейско-Африканского меридионального сектора. Исследование Земли из космоса. № 2. 2007. С. 34 – 42.
8. Харитонов А.Л. Программное обеспечение для технологии спутникового мониторинга и прогнозирования аварийных ситуаций на объектах нефтегазового. Доклад на 5-ой Научно-практической конференции «Суперкомпьютерные технологии в нефтегазовой отрасли. Математические методы, программное и аппаратное обеспечение». МГУ им. М.В.Ломоносова. 2016.
9. Ротанова Н.М., Харитонов А.Л., Ан Ченчанг. Спектральный анализ магнитного поля, измеренного на спутнике МАГСАТ. Геомагнетизм и аэрономия. Т. 39. № 3. 1999. С. 101-107.
10. Харитонов А.Л. Применение элементов корреляционной теории для анализа и интерпретации аномального магнитного поля. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Москва. ИЗМИРАН. 1984. 25 с.
11. Ротанова Н.М., Головков В.П., Фрунзе А.Х., Харитонов А.Л. Анализ спутниковых измерений с помощью разложения поля на естественные ортогональные составляющие Геомагнетизм и аэрономия. Т.39. №4. 1999. С. 92-99.

## **Особенности структуры толщи верхнечетвертичных отложений Северного Каспия по данным инженерно-геологических изысканий.**

**Безродных Юрий Петрович**

*АО «Моринжгеология», Астрахань - Рига*

На акватории Северного Каспия в рамках проектов геологоразведочных работ и обустройства выявленных нефтегазовых месторождений выполнен большой объем инженерно-геологических изысканий, включавших сейсмоакустическое профилирование в двухчастотной модификации и геотехнические работы: инженерно-геологическое бурение, статическое зондирование на глубину до 80 м и опробование донных грунтов на глубину до 4 м [2, 7 и др.]. Сочетанием геофизических и геотехнических работ обеспечивается детальное изучение структуры и литологического состава толщи. Наиболее эффективен совместный анализ сейсмоакустических записей и данных статического зондирования, отражающих характер изменения состава и физико-механических свойств грунтов по разрезу с интервалом через 5 см. Изучение видового состава и абсолютного возраста захороненных органических остатков, выполняемое в МГУ под руководством Т.А.Яниной и В.Н. Сорокина, обеспечивает интерпретацию исследуемых разрезов со стратиграфических позиций [1, 3, 6]. Инженерно-геологические изыскания выполняются на локальных площадках и по узким полосам по трассам коммуникаций, изредка по связующим профилям и не предполагают региональное изучение акватории. Места проведенных инженерных изысканий (более 30 площадок и более 400 км трасс) следует рассматривать как ключевые участки для последующих региональных геологических и научных исследований, содержащие разнообразную информацию о грунтовой толще.

Дно Северного Каспия с геоморфологических и геологических позиций представляет шельф, обрамляющий с севера глубоководную Средне-Каспийскую котловину. Формирование его связано с заполнением северной части Каспийской депрессии аллювиальным материалом, выносимым Волгой и поступающим с предгорий Кавказа. Бровка шельфа маркируется возрастанием уклонов дна, прибрежными осадками и обширным дельтовым конусом р. Волги периода мангышлакской регрессии в дугообразной полосе на глубине 50-70 м от современной поверхности моря (рис.1).

Шельф отчетливо дифференцирован по рельефу и особенностям строения покровного комплекса, сложенного новокаспийскими осадками, и процессам морфолитогеоза. Северная его часть до глубины 5-6 м представляет собой **придельтовую равнину**, характерными элементами новокаспийского покрова в которой являются прослойки заторфованных глинистых отложений и многочисленные разновозрастные врезы, перекрытые современными осадками. Южнее на глубинах 10-13 м располагается замкнутая **плоскодонная котловина**, ограниченная с юга серией крупных возвышений – банок, рассматриваемых нередко как части так называемого Мангышлакского порога. Котловина отличается небольшой мощностью слоя новокаспийских осадков (до 2 м), представленных преимущественно ракушечным и ракушечно-песчаным материалом. **Банки** представляет собой крупные аккумулятивные сооружения новокаспийского времени высотой до 7-9 м, налегающие на окраину указанной котловины. Они сложены песками, местами оолитовыми, и ракушечными отложениями и отличаются весьма изрезанным холмисто-грядовым рельефом, наличием невысоких эрозионных останцов и эрозионных желобов у основания возвышений. Южнее с глубины 15-17 м до бровки шельфа простирается полого наклоненная **внешняя шельфовая равнина**, характе-



ризующаяся волнистым абразионно-аккумулятивным рельефом и малой мощностью (до 2 м) новокаспийских грунтов, представленных ракушей и ракушечно-песчаными отложениями.

Позиция участков и районов выполненных изысканий и положение связующих их сейсмоакустических профилей на шельфе отображены на рисунке №1. Наиболее детально изучен район №1, протягивающийся в восток-юго-восточном направлении от о. Малый Жемчужный до погребенной палеодолины р. Волга. Наименее исследованы район №4, находящийся на юго-западной окраине шельфа и район № 5, располагающийся на придельтовой равнине.

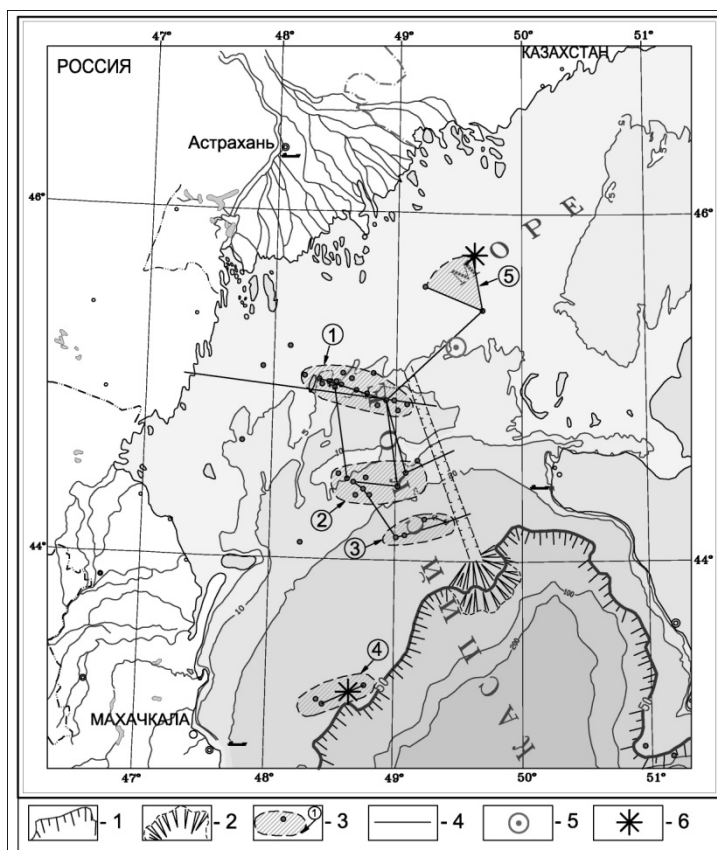


Рис. 1. Схема размещения мест производства инженерно-геологических изысканий на севере Каспия. 1 – внешняя пограничная зона северо-каспийского шельфа; 2 – дельтовый конус выноса р. Волга, сформированный в период мангышлакской регрессии; 3 – участки и районы производства инженерно-геологических изысканий и их номера; 4 – сейсмоакустические профили, соединяющие участки изысканий и профили-рассечки; 5 – место расположения грабенообразной депрессии; 6 – места проявления деформаций неоплесточеновых отложений.

Ранее, до начала рассматриваемых изысканий, данные о строении разреза верхней части осадочной толщи Северного Каспия были получены в результате картировочного бурения, в больших объемах выполненного в Волго-Каспийском канале [5]. Особенности геологического строения южной части шельфа охарактеризованы Куприным П.Н. и Росляковым А.Г. [4] по материалам сейсмоакустического профилирования, проведенного на НИС МГУ «Эксперимент» и предоставленным КНГТР (Баку).

Получение при изысканиях сейсмоакустических материалов высокого разрешения обеспечивает детальное изучение слоистости отложений, морфологии залежей и благодаря этому позволяет с учетом данных геотехнических работ интерпретировать разрезы с позиций

фациально-динамического анализа и проследить смену условий седиментации в пространстве, используя принципы сиквенс-стратиграфического анализа.

Уверенно выделяющимися и регионально прослеживаемыми на сейсмоакустических разрезах являются пакеты параллельных, местами облегающих отражений, формируемые в волновом поле наиболее глубоководными морскими глинистыми отложениями с послойным скоплением ракушечного материала, либо пылеватого песка. Тонкослоистой структурой типа заполнения выделяются погребенные линейно вытянутые замкнутые депрессии типа современных ильменей и врезы с комплексом глинистых осадков. В отложениях динамически активной зоны морского побережья и в крупных речных врезях на записях фиксируется косая разнонаправленная слоистость. Весьма неоднородна слоистость в комплексах дельтовых отложений, накапливающихся в разнообразных динамических обстановках. На сейсмоакустических разрезах, главным образом на южной окраине шельфа, а также на флангах дельтовых комплексов выделяются интервалы клиноформной структуры.

Согласно материалам инженерно-геологических изысканий и результатам биостратиграфических исследований в наиболее исследованном районе № 1 под маломощным покровом новокаспийских осадков залегает толща отложений верхнего неоплейстоцена мощностью меняющейся в интервале 55-60 м. В разрезе её обособляют 2 седиментационных комплекса, связанные с 2-мя известными трансгрессивно-регрессивными циклами развития Каспийского бассейна. В каждом из них базальные прибрежно-морские и мелководно-морские песчаные и песчано-ракушечные осадки сменяются пачками умеренно-глубоководных глин, содержащих прослой более мелководных осадков. В верхах верхнего комплекса указанная пачка перекрывается пестрыми по составу дельтовыми отложениями. В состав осадочных комплексов, по нашему мнению, следует включать также локально распределенные осадки, накапливающиеся в субаэральной среде при максимально низком уровне моря в периоды ательской и мангышлакской регрессий. Поскольку основной объем (ядро) комплексов составляют морские осадки, в их названии следует сохранить названия стратиграфических подразделений соответствующих периодам высокого уровня Каспия, соответственно, гирканский либо верхнехазарский и хвалынский. Рассматриваемые отложения налегают со слабо выраженным угловым несогласием на толщу отложений среднего неоплейстоцена мощностью 50-60 м, по литологическому составу неоднородную у кровли и в основном объеме представленную хорошо консолидированными глинами. Подошва неоплейстоценовых отложений в районе располагается ниже интервала сейсмоакустических записей, судя по данным высокочастотных сейсморазведочных работ на глубинах 190-220 м от уровня моря.

Границы между седиментационными комплексами, выделяемые на основе биостратиграфических исследований, уверенно диагностируются на сейсмоакустических записях, что обеспечивает корреляцию разрезов между районами и оценку изменения комплексов в пределах шельфа.

Наиболее существенные изменения по структуре и составу проявляются в интервалах разреза, соответствующих периодам регрессий. Отложения периода мангышлакской регрессии на большой площади мелководья, при глубинах моря до 20 м, залегают в локальных депрессиях и врезях, на глубинах 25-35 м в районе №3 они образовали конусовидную залежь клиноформной структуры. На бровке шельфа на глубинах 50-70 м выделяется обширный конус выноса, замыкающий мангышлакский врез Волги. Отложения периода ательской регрессии в районе №1 на глубинах 32-40 м от поверхности моря

образуют локальные маломощные залежи, а у внешнего фланга шельфа в районе №4 на глубинах 85-100 м образуют слой клиноформной структуры мощностью до 15 м.

В основании хвалынского комплекса в районе №1 на глубинах 30-35 м от уровня моря залегает выдержанный по простиранию слой прибрежно морских осадков. В районе № 3 в основании комплекса, в интервале 55-73 м от уровня моря обособляется клиновидная залежь, представляющая вероятно фланг дельтового конуса времени начала хвалынской трансгрессии. Значительно изменяется по площади структура и состав верхнехазарского комплекса. В районе №1 верхняя его часть сложена горизонтально слоистыми глинистыми отложениями. На окраине шельфа в районе №4 под ательскими отложениями на глубинах свыше 100 м от уровня моря залегает пачка отложений клиноформной структуры мощностью до 45 м.

Значительно изменяется разрез толщи неоплейстоценовых отложений в северном, северо-восточном направлениях от района №1 в сторону погребенного Кулалинского поднятия. На региональном сейсмоакустическом профиле в указанном направлении происходит уменьшение общей мощности неоплейстоценовой толщи от 190-200 м до 80 м за счет выклинивания верхней половины нижнехазарского седиментационного комплекса и низов неоплейстоценовой части разреза. Примечательный элемент, заслуживающий изучения, выделяется на разрезе по этому профилю на расстоянии около 60 км от района №1. Он проявляется как грабенообразная конседиментационная депрессия, продолжавшаяся формироваться в неоплейстоцене. Ширина его по линии профиля составляет около 1,8 км. Величина прогиба в нём подошвы неоплейстоценовых отложений составляет около 30 м. Центр депрессии на профиле имеет следующие координаты: С.Ш. 45°17'11", В.Д. 49°32'06".

Постседиментационные структуры на шельфе имеют весьма ограниченное распространение, являясь результатом пластических деформаций отдельных интервалов разреза. На одном из участков в северном районе № 5 в низах неоплейстоценовой толщи и подстилающих эоплейстоценовых отложениях выделяются разобщенные антиклинальные возвышения килевидной формы, высотой до 2,5 м, протягивающиеся параллельно в субширотном направлении. В южном районе № 4 на профиле-связке между двумя участками изысканий в верхах разреза отмечено смятие первично горизонтальных слоев с образованием изоклинальных складок амплитудой до 1,5 м. Эти структуры проявлены на участке профиля протяженностью 3 км. Центры участков проявления указанных деформаций имеют следующие координаты: в районе 4 – С.Ш. 43°11'25", В.Д. 48°39'41"; в районе 5 – С.Ш. 45°45'28", В.Д. 49°35'51".

Автор доклада благодарен В.И.Федорову, осуществившему дополнительную обработку материалов сейсмоакустического профилирования по региональным профилям.

По вопросам получения и использования материалов инженерных изысканий по северо-западной части Каспия следует обращаться в ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть».

### **Список литературы**

1. *Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф. и др.* Биостратиграфия, строение верхнечетвертичных отложений и некоторые черты палеогеографии Северного Каспия. // Стратиграфия, геологическая корреляция. 2004, том,12, № 1 с. 114-124.

2. *Безродных Ю.П.* Инженерно-геологические изыскания, выполняемые на акватории Каспийского моря. // Инженерные изыскания. 2014, № 4, с. 54-58.

3.Безродных Ю.П. , Делия С.В., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А Новые данные по стратиграфии верхнечетвертичных отложений Северного Каспия. // Доклады Академии Наук, география, 2015, том 462, № 1, с. 95-99.

4.Куприн П.Н., Росляков А.Г. Геологическая структура Мангышлакского порога.//Геотектоника, № 2, 1991. с. 28-49.

5.Мякокин В.С., Тураев И.А. Литолого-стратиграфическая характеристика и особенности строения четвертичных отложений северо-западной части Каспийского моря. - В сб. Комплексные исследования Каспийского моря, вып.1, М., изд-во МГУ, 1970, с.149-159

6.Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф. Гирканский этап в плейстоценовой истории Каспийского моря. // Вестник Московского университета, серия 5, география, 2014, № 3, с. 3-8.

7.Bezrodnyh Y.P., Lisins V.P. Dual-frequency sub bottom profiling for the evaluation of safety of offshore structures// 10th European Meeting of Environmental and Engineering

## Строение и стратиграфия верхнечетвертичных отложений Северного Каспия.

Безродных Юрий Петрович, Сорокин Валентин Михайлович,

Янина Тамара Алексеевна

АО Моринжгеология, г. Рига

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

Комплексное изучение керна скважин, вскрывших верхнечетвертичные отложения Северного Каспия на площадях разрабатываемых НК «ЛУКОЙЛ» нефтяных месторождений, установило последовательную смену (снизу вверх) верхнехазарского, ательского, хвалынского, мангышлакского и новокаспийского стратиграфических горизонтов, представленных комплексом морских и континентальных отложений, границы между которыми имеют четкое отражение на региональных сейсмоакустических профилях. В основе работы лежат результаты обработки около 2000 км двухчастотных сейсмоакустических профилей, инженерно-геологического бурения на глубину до 80 м объемом около 1800 м; статического зондирования в объеме около 900 м. Лабораторная обработка включала литологическое и геотехническое изучение состава и свойств грунтов, флористические и фаунистические исследования заключенных в них органических остатков. Определения абсолютного возраста выполнены двумя модификациями радиоуглеродного метода: жидкостным сцинтилляционным в Институте географии РАН (ИГАН), в Московском (МГУ) и Санкт-Петербургском (ЛГУ) государственных университетах и AMS в Lawrence Livermore National Laboratory США (США). Калибровка возраста проведена программой Calpal-2007<sup>online</sup> (онлайн версия) Кельнского университета (Danzeglocke et al., 2014).

Верхнехазарский горизонт, мощностью около 25–28 м, представлен двумя подгоризонтами: собственно позднехазарским и гирканским. Верхнехазарский подгоризонт в основании выражен мелководными каспийскими осадками, представленными песками мощностью до 2 м с включениями раковин характерных позднехазарских видов *Didacna surachanica*, *D. nalivkini*, *D. ovatocrassa*, разнообразных монодакт, дрейссен, гастропод. Они перекрыты песчано-глинистыми отложениями мощностью до 9 м, содержащими, наряду с раковинами указанных видов, пресноводные *Viviparus* и *Valvata*. В кровле толщи обособлен песчано-раковинный слой мощностью около 1 м. В составе раковин *Didacna surachanica*, *Didacna nalivkini*, сопровождаемые монодактами, дрейссенами, разнообразными гастроподами, а также довольно многочисленными раковинами теплолюбивого пресноводного вида *Corbicula fluminalis*. Позднехазарский комплекс осадков характеризует условия мелководного и умеренно глубоководного трансгрессивного бассейна. Развитие в Прикаспии травянистых ассоциаций полупустынного типа и почти полное отсутствие лесных сообществ свидетельствуют об аридном климате эпохи (Янина и др., 2014).

Гирканский подгоризонт залегает выше верхнехазарского. Это выдержанная по простиранию толща глины мощностью до 8 м с раковинами *Dreissena rostriformis distincta*, *Didacna subcatillus*, *D. umbonata*, *D. cristata*, *D. par allella* (виды, характерные для установленного Г.И. Поповым (1983) в Северном Прикаспии гирканского горизонта), а также редкими позднехазарскими видами и пресноводными *Corbicula fluminalis*. Радиоуглеродный анализ раковин моллюсков показал их возраст от 47 до >55 тыс. лет. Отметим, что предполагаемый геологический возраст гирканских осадков лежит за пределами возможностей этого метода, что вызывает необходимость дополнительных

геохронологических исследований. Гирканские отложения отвечают трансгрессии с более высоким уровнем (по сравнению с позднехазарским). Увеличение в растительном покрове доли древесных пород, а также заметное присутствие наряду с ксерофитами разнотравья (Янина и др., 2014) указывает на некоторое похолодание и увлажнение климата. Наши исследования подтвердили представления Г.И. Попова о существовании в позднеплейстоценовой истории Каспийского моря гирканского трансгрессивного бассейна, развивавшегося после позднехазарского бассейна и отделенного глубокой ательской регрессией от хвалынской трансгрессии. Гирканский трансгрессивный бассейн развивался в теплую микулинскую эпоху, его максимальный уровень и сток вод по Манычу отвечали переходному этапу от микулинского межледниковья к валдайской холодной эпохе.

Ательский горизонт сложен смесью песчаного и глинистого материала, содержащего растительные остатки, прослой черного торфоподобного материала, свидетельствующего о континентальном генезисе. Они заполняют ложбинообразные понижения глубиной 2–6 м, четко проявляющиеся на сейсмоакустических разрезах под отражающим горизонтом, трассирующимся по подошве хвалынских отложений в толще подстилающих слоев. К характерным особенностям грунтов, отличающим их от подстилающих и перекрывающих отложений, относятся большая плотность (2,10 – 2,15 г/см<sup>3</sup>), малая влажность, не превышающая обычно 25–26%, а также наличие мелких трещин (Безродных и др., 2015). Отложения содержат закисное железо в виде гидротроилита. Состав органических остатков характеризует водно-болотные условия пресноводных либо слабосоленоватых неглубоких водоемов с водой, бедной биогенными элементами, но богатой карбонатами. Среди растительного материала преобладают фрагменты высших водных растений (роголистник и рогоз), присутствуют остатки вольвоксовых, сине-зеленых, харовых (оогонии), десмидиевых водорослей. Малакофауна представлена раковинами обитателей пресноводных или слабосоленоватых водоемов: *Unio* sp., *Dreissena polymorpha polymorpha*, *Anisus eichwaldi*, *Valvata piscinalis*, *Theodoxus pallasi*, *Limnea stagnalis*, встречаются наземные гастроподы. Для гуминовых кислот, выделенных из ательских отложений, которые заполняют палеоврезы, впервые получены радиоуглеродные датировки, лежащие в интервале 36680±850 – 40830±100 лет, калиброванный возраст 41191±750 – 44390±180 лет. Отметим совпадение результатов датирования, выполненного модификациями метода в разных лабораториях. Можно заключить, что завершающие стадии ательского этапа развития Каспия — заполнение регрессивных врезов осадками пресноводных водоемов — происходили в начальные стадии валдайского межстадиала. Согласно нашим данным по профилированию и строению скважин, уровень Каспия опускался до –100 м.

Хвалынский горизонт выражен сложно построенной толщей разнофациальных осадков. В его основании залегает пачка мощностью 2,5–5,0 м, обогащенная раковинным материалом. В ее разрезе чередование раковинного материала разной крупности с песчаным либо глинистым заполнителем, глинистый грунт с включениями раковин и раковинного детрита. Судя по составу, это мелководные осадки, обстановка накопления которых близка к современной в районе изученных площадей Северного Каспия. Осадки содержат комплекс моллюсков, в котором преобладают *Didacna subcatillus*, встречаются *D. protracta*, *D. zhukovi*, *D. cristata*, многочисленные дрейссены и монодакны. Радиоуглеродный возраст подошвы этой пачки (и хвалынского горизонта в целом) 27–31 тыс. лет (до 34 тыс. календарных лет) (Безродных и др., 2004, Yanina et al., 2013). Выше залегает мощная (8–10 м) толща, сложенная глинами с прослоями песка разной мощности, включающими немногочисленные



раковины характерных видов раннехвалынских моллюсков *Didacna protracta submedia*, *D. ebersini*, многочисленные *Dreissena rostriformis*. Радиоуглеродные даты этой толщи отсутствуют, но перекрывающая их регрессивная пачка песка датирована возрастом около 21-20 тыс. лет. Из временных рамок (31-21 тыс. <sup>14</sup>C лет) накопления нижней толщи хвалынских трансгрессивных отложений, следует, что этот трансгрессивный этап отвечает межстадиальному внутривалдайскому смягчению климата.

Над регрессивной песчаной толщей мощностью до 12 м, отвечающей, судя по радиоуглеродным датировкам 22-20 тыс. лет, максимуму поздневалдайского оледенения, залегает разнофациальная толща хвалынских осадков, представленная двумя типами отложений. Нижняя часть – это алевритовый песок с прослоями глин, общей мощностью 4–5 м. В составе раковин доминируют монодакны, гипанисы, адакны, гастроподы. Из дидакн в комплексе встречаются *D. parallella*, *D. subcatillus*, *D. praetrigonoides*. Возраст основания пачки около 16–17 тыс. <sup>14</sup>C лет. Она отвечает деградации поздневалдайского оледенения. Верхняя часть – пачка дельтовых песков, обогащенных растительным детритом, глинистых и алеврито-глинистых илов разной консистенции, сформированных в мелководных условиях при начавшейся регрессии моря. Ее мощность от 1–2 до 10 м.

Мангышлакский горизонт включает комплекс отложений, сформированных в период мангышлакской регрессии севернее отступающего берега моря и заполняющих замкнутые палеопонижения: слабо консолидированные глины, торф, сапропель, алеврито-песчаные осадки, часто включающие растительный детрит. Максимальная мощность горизонта 6–9 м. Мангышлакские отложения фаунистически охарактеризованы слабо. В основании горизонта в торфоподобных осадках содержатся створки *Dreissena polymorpha polymorpha*. В его верхней части появляются виды, получившие распространение в новокаспийских отложениях. Радиоуглеродный возраст низов горизонта составляет 9-10 тыс. <sup>14</sup>C лет (Безродных и др., 2014).

Новокаспийский горизонт представлен слоем мощностью от 0,5 до 2 м, плащеобразно перекрывающим нижележащие отложения, сложенным в нижней части песком, а в верхней раковинными и раковинно-песчаными отложениями. Осадки содержат комплекс моллюсков с представителями разных видов родов *Dreissena*, *Monodacna*, *Hypanis*, *Adacna*, иногда присутствуют пресноводные моллюски родов *Unio*, *Limnea*. По составу раковин можно выделить три слоя: верхний (современный) включает *Didacna bae ri*, *D. longipes*, *D. barbotdemarnyi*, редкие *D. parallella*, *D. cristata*, *D. praetrigonoides*, а также *Cerastoderma glaucum*, *Mytilaster lineatus*, *Abra ovata*; средний отличается отсутствием последних двух видов; нижний содержит вместе со слабо солоноватоводными и пресноводными видами *D. barbotdemarnyi*. По результатам радиоуглеродного датирования установлено, что низы новокаспийского горизонта имеют возраст менее 7,7 тыс. лет.

Таким образом, в Северном Каспии бурением вскрыта толща верхнечетвертичных осадков мощностью около 60 метров. В ее разрезе наблюдается последовательная смена верхнехазарского (верхнехазарский и гирканский подгоризонты), ательского, хвалынского (нижнехвалынский и верхнехвалынский подгоризонты), мангышлакского и новокаспийского стратиграфических горизонтов, представленных комплексом морских и континентальных отложений, границы между которыми имеют четкое отражение на региональных сейсмоакустических профилях. Каждый из морских горизонтов охарактеризован оригинальной фауной каспийских моллюсков с характерными видами. Стратиграфические подгоризонты охарактеризованы фаунистическими комплексами, входящими в состав фаун

и имеющими с ними общие признаки. В разрезе верхнечетвертичных отложений Северного Каспия впервые установлены стратиграфические толщи – гирканский подгоризонт и нижняя часть нижнехвалынского подгоризонта – позволяющие более полно реконструировать историю развития Каспия в позднечетвертичное время.

Работа частично выполнена по проекту РНФ № 16-17-10103.

### **Список литературы**

Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Федоров В.И., Сорокин В.М., Лукша В.Л. Мангышлакские отложения (голоцен) Северного Каспия // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014. Т. 22. № 4. С. 88-108.

Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф., Делия С.В., Магомедов Р.Д., Сорокин В.М., Парунин О.Б., Бабак Е.В. Биостратиграфия, строение верхнечетвертичных отложений и некоторые черты палеогеографии Северного Каспия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12. № 1. С. 114–124.

Безродных Ю.П., Сорокин В.М., Янина Т.А. Об ательской регрессии Каспийского моря // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 77-85.

Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с.

Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф. Гирканский этап в плейстоценовой истории Каспийского моря // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2014. № 3. С. 3–9.

Danzeglocke U., Jöris O., Weninger B. 2014. Calpal-2007<sup>online</sup>. <http://www.calpal-online.de> (accessed 12.07.2014).

Yanina T.A., Sorokin V.M., Bezrodnykh YuP., Romanyuk B.F. Paleogeography of the Caspian late Pleistocene: new data // IGCP 610 from the Caspian to Mediterranean: Environmental change and human response during the Quaternary. Tbilisi: Iliia State University, 2013. P. 156–158.

## **Эволюция порового давления в окрестности подводных грязевых вулканов и аккумуляция газовых гидратов.**

**Суетнова Е.И., Жостков Р.А.**

*ИФЗ РАН. Москва*

Геофизическими наблюдениями последних лет в ряде зон подводных грязевых вулканов были обнаружены геофизические признаки фильтрации газонасыщенных флюидов в окрестности жерла. В окрестностях некоторых подводных грязевых вулканов также были обнаружены газовые гидраты, и их обнаружение указывает на наличие фильтрации флюида и газа в осадках в окрестности грязевых вулканов. Учитывая данные геофизических наблюдений, можно предположить, что помимо собственно вулканической активности в центре вулкана, в вулканическом канале, на периферии вулкана происходит фильтрация к поверхности газонасыщенного флюида (высачивание) в осадках над протяженным осадочным слоем с аномальным высоким поровым давлением, находящимся на некоторой глубине осадков и являющимся источником грязевулканической деятельности (питающим резервуаром) [Mazzini, 2009]. Газонасыщенный флюид движимый повышенным давлением флюида в питающем резервуаре фильтруется сквозь пористый насыщенный проницаемый слой осадков к поверхности. При этом можно считать, что фильтрация в пористой среде осадков над резервуаром питания грязевого вулкана оказывает мало существенное влияние на давление флюида в резервуаре (в котором предполагается аномально высокое поровое давление (АВПД)) [Mazzini, 2009, Холодов, 2012] по сравнению с извержениями вулкана. Такой цикл фильтрации может существовать между извержениями грязевого вулкана. Глубина поддонной зоны стабильности газовых гидратов зависит от распределения температуры и давления порового флюида. Гидратонасыщенность поддонных осадков зависит от скорости подачи газонасыщенного порового флюида в зону стабильности газовых гидратов и длительности этого процесса [Суетнова, 2011]. Кроме того, гидратонасыщенность зависит от градиента концентрации растворенного в поровом флюиде газа в равновесии с гидратом, который также зависит от температуры и давления [Davie, Zatsepina, Buffet 2004]. Для оценки гидратонасыщенности осадков необходимо знать все эти параметры. Геофизическими наблюдениями были получены несколько значений градиента температуры в окрестности грязевых вулканов, где по геофизическим данным присутствуют газовые гидраты [Ginsburg, Milkov, Soloviev et al, 1999]. Однако, скорость фильтрации и поровое давление и, следовательно, глубину зоны стабильности газовых гидратов, в осадках в окрестности грязевых вулканов в настоящее время можно оценить только с помощью математического моделирования.

В данной работе приводятся результаты математического моделирования процесса фильтрации газонасыщенных флюидов в окрестности жерла подводного грязевого вулкана в промежутках между извержениями. Модель описывает фильтрацию газонасыщенного флюида от грязевого резервуара в толще осадков к поверхности дна. Система уравнений, описывающая этот процесс, состоит из уравнений в частных производных, описывающих нестационарный процесс фильтрации поддонного флюида над питающим резервуаром (уравнение Дарси), и уравнений неразрывности насыщающего флюида, и соответствующими граничными условиями. Система также включает замыкающее соотношение для зависимости пористости от давления.

$$v(z,t) = -\frac{k}{\mu m} \left( \frac{\partial p_f(z,t)}{\partial z} - \rho_f g \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_f m}{\partial t} + \frac{\partial \rho_f v(z,t) m}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\partial m / \partial t = m_0 (1/K) \partial p_f / \partial t \quad (3)$$

Здесь использованы обозначения:  $m$  - пористость,  $\rho_f$ -плотность флюида,  $k$ -проницаемость осадков ( в общем случае функция пористости и гидратонасыщенности [Суетнова, 2009],  $\mu$  - вязкость флюида,  $g$  -ускорение силы тяжести,  $K$  – коэффициент сжимаемости пористой среды [Чарный,1963; Николаевский и др., 1970] ,  $t$  -время ,  $z$  – пространственная координата,  $v_f$ - скорость фильтрации,  $p_f$ – давление флюида.

Система (1-3) становится полной и замкнутой после формулировки следующих граничных и начальных условий: на нижней границе на контакте с резервуаром питания (глубина  $L$ ) давление флюида поддерживается постоянным и равным  $p_L$  , на верхней границе давление равно давлению на дне акватории  $p_1$  . Пористость в начальный момент принимается постоянной  $m(z)=m_0$ ; В начальный момент, при  $t=0$ , в слое давление флюида гидростатическое  $p_0$ . В данном исследовании мы сосредоточимся на гидродинамической задаче фильтрации, вводя для упрощения предположение о постоянстве градиента температуры в модели, то есть пренебрегая эффектом прогрева от извержения грязевого вулкана, который может влиять на плотность порового флюида. Следует отметить, что хотя извержения грязевых вулканов являются низкотемпературными, они могут вносить кратковременные возмущения в распределение температур в поверхностном слое осадков в ближней окрестности грязевого канала и их учет в будущем будет требовать дополнительных данных натурных наблюдений.

Сформулированная нелинейная система дифференциальных уравнений в частных производных решалась численно для серии различных значений типичных параметров осадков и глубин питающего резервуара грязевого вулкана. Решения показывают движение волны порового давления после перестройки порового пространства после извержения вулкана. Рост порового давления приводит к заглоблению границы стабильности газовых гидратов [Суетнова, 2009].

Полученные результаты могут быть использованы для интерпретации сейсмических исследований и исследований эволюции гидратонасыщенности в зонах грязевого вулканизма.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 14- 05-00368.

### Список литературы

*Николаевский В.Н., Басниев К.С., Горбунов А.Т., Зотов Г.А.* Механика насыщенных пористых сред. М.: Недра, 1970. 338 с.

*Суетнова Е.И.* Особенности аккумуляции газовых гидратов при различных уровнях флюидного давления, формирующегося в осадках при их накоплении // Геофизические исследования. 2009. 10. № 2. С.69-76.

*Суетнова Е.И.* Аккумуляция газовых гидратов в морском дне при последовательном накоплении осадков с различными транспортными свойствами // Докл. РАН. 2011. Т. 438, № 6. С.813–816.

*Холодов В.Н.* Грязевые вулканы: закономерности размещения и генезис // Литология и полезные ископаемые. 2012. N 3. С.227-241.

*Чарный В.А.* Подземная гидрогазодинамика. Гостехиздат. 1963. 396 с.

*Davie M.K., Zatsepina O.Ye., Buffet B.A.* Methane solubility in marine hydrate environments // Marine Geology. 2004. V. 203. P.177–184.

*Ginsburg G. D., A. V. Milkov, V. A. Soloviev, A. V. Egorov, G. A. Cherkashev. P. R. Vogt., K. Crane, T. D. Lorenson, M. D. Khutorskoy.* Gas hydrate accumulation at the Haakon Mosby Mud Volcano // Geo-Marine Letters. 1999. 19. P. 57-67.

*Mazzini A.* Mud volcanism: Processes and implications // Marine and Petroleum Geology. 2009. 26. P.1677–1680.

## Газоносность грунтов и газовые сипы Северного Каспия.

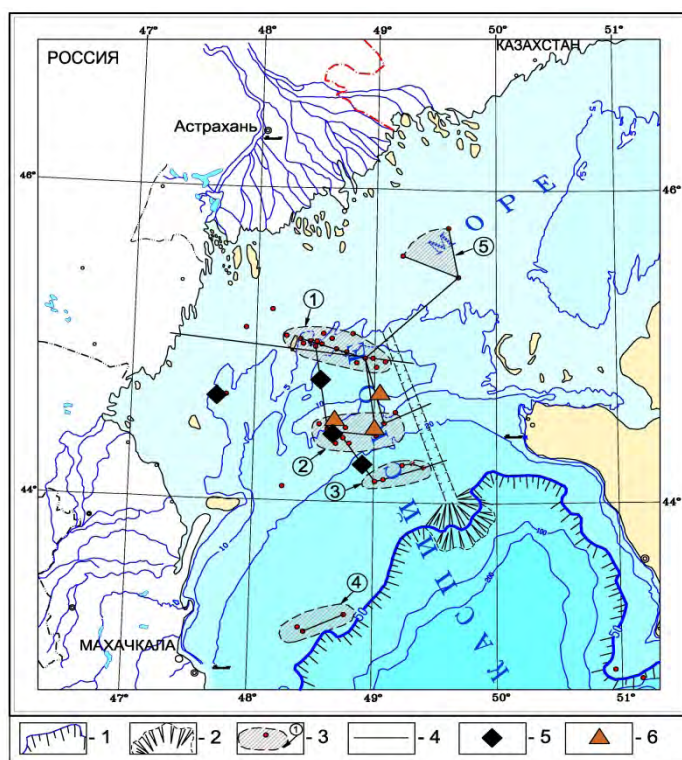
Алексеев Андрей Германович<sup>1</sup>, Безродных Юрий Петрович<sup>2</sup>,

Лисин Виктор Прохорович<sup>2</sup>

1 - ООО «Лукойл-Нижневожскнефть», Астрахань, 2 - АО «Моринжгеология», Рига

Скопления углеводородного газа в верхней части грунтовой толщи представляют собой компоненты, относящиеся к категории «геологических опасностей» и, соответственно, подлежащие обязательному выявлению и изучению при производстве инженерно-геологических изысканий. При изысканиях, проведенных на акватории Северного Каспия в рамках проектов геологоразведочных работ и обустройства выявленных нефтегазовых месторождений (рис. 1), определены особенности локализации углеводородного газа в верхней части осадочной толщи и обнаружены места истечения из дна газа (газовые сипы). В придонной части грунтовой толщи распространены два типа скоплений газа: **автохтонные**, залегающие в местах захоронения органического материала в погребенных палеодепрессиях и речных врезках, и **аллохтонные**, сформированные за счет более глубоко залегающих источников в прослоях коллекторов на разных уровнях, местами вплоть до поверхности дна.

Рис.1. Схема размещения мест производства инженерно-геологических работ на севере Каспия и расположения скоплений аллохтонного газа.



Исследование газоносности грунтовой толщи на глубины до 100-150 м от дна осуществляется по материалам двухчастотного сейсмоакустического профилирования и бурением специальных пилотных скважин в проектных местах размещения плавучих буровых установок и объектов обустройства [1]. Для изучения путей миграции газа из глубинных источников и распространения его в неконсолидированной грунтовой толще в интервале глубин до 800 м привлекаются данные сейсморазведки 2D и 3D. При изучении мест истечения газа в придонные грунты и в водную толщу проводятся детальные гидролокационное и телевизионное обследование дна, опробование и изучение состава донных грунтов [2].



Наиболее отчетливо признаки малоглубинных скоплений газа в грунтовой толще и выходы его в водный слой проявляются на сейсмоакустических записях, полученных с излучателем «спаркер» (рис. 2а). Присутствие значительных количеств углеводородного газа в выявляемых таким путем местах подтверждается бурением пилотных скважин. При вскрытии пилотными скважинами газоносных интервалов содержание метана в воздухе над водой у борта судна иногда превышало значение НКПР – нижнего концентрационного предела распространения пламени (рис. 2б).

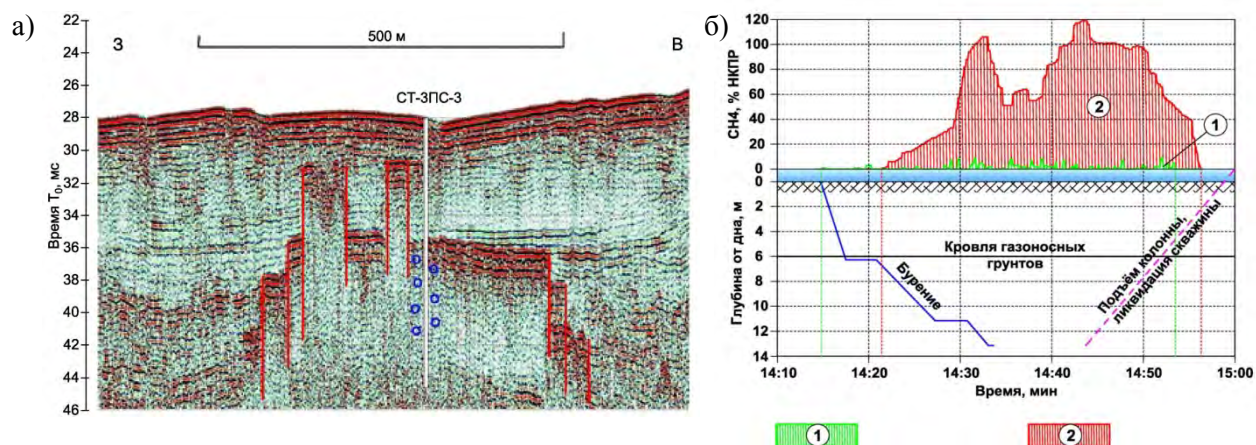


Рис. 2. Аномалия на сейсмоакустическом разрезе, фиксирующая придонные скопления в грунтах свободного газа (а) и график содержания метана в воздухе над водой при бурении пилотной скважины в месте проявления этой аномалии (б): 1 – на судне над буровой шахтой, 2 – над водой у борта судна.

Истечение газа из грунтовой толщи на Северном Каспии проявляется весьма локально, в масштабах весьма незначительных по сравнению с южными районами акватории.

При выполненных изысканиях газовые сипы обнаружены на 4 участках, показанных на рисунке 1. Изучение одного из них показало, что в местах истечения газа происходит преобразование донной поверхности в связи с цементацией грунтов карбонатами и формированием ими отдельных конусовидных тел и прочных покровов, отчетливо отображающихся на сонограммах дна (рис. 3). Результаты исследований, выполненных на этом участке, приведены в публикации [2].

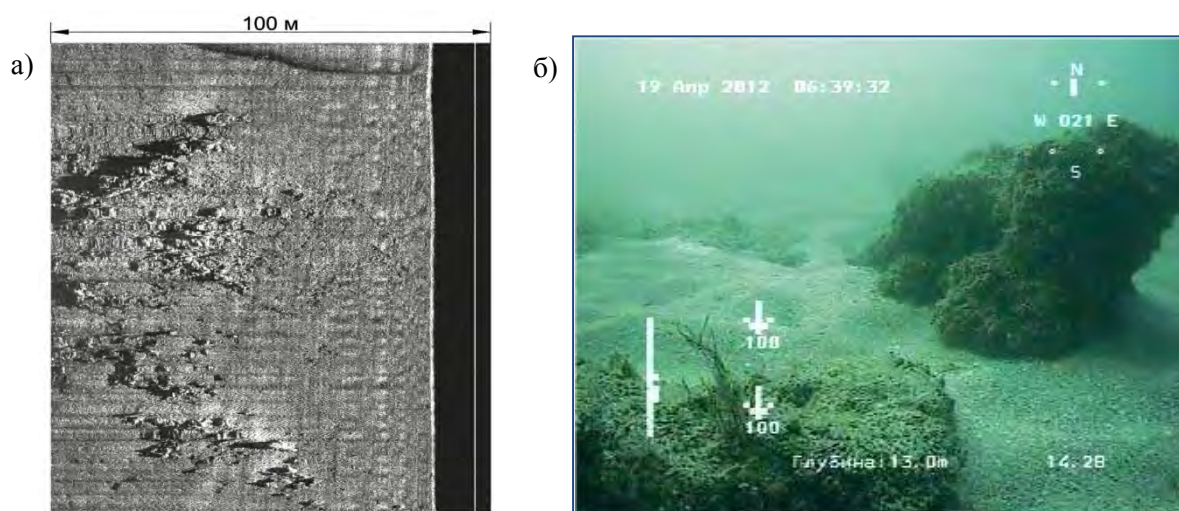


Рис.3. Сонограмма дна (а) и скан видеоизображения (б), характеризующие распространение сцементированных грунтов в месте истечения из дна метана.

Наличие значительных скоплений газа на малых глубинах в зонах антиклинальных структур, сводовые части которых часто осложнены тектоническими нарушениями, вполне закономерно, поскольку каналы миграции экранируются на глубине 30-85 м мощными пачками пластичных нижнехазарских, верхнехазарских и нижнехвалынских глин. В результате формируются массивные зоны газонасыщенных грунтов до глубин, достигающих, согласно данным сейсмоакустических и сейсморазведочных работ, 1 км (рис. 4). Часть этого газа проникает в вышележащие грунты, местами достигая дна, возможно, по ослабленным зонам грунтовой толщи в местах проявления новейшей тектоники [3].

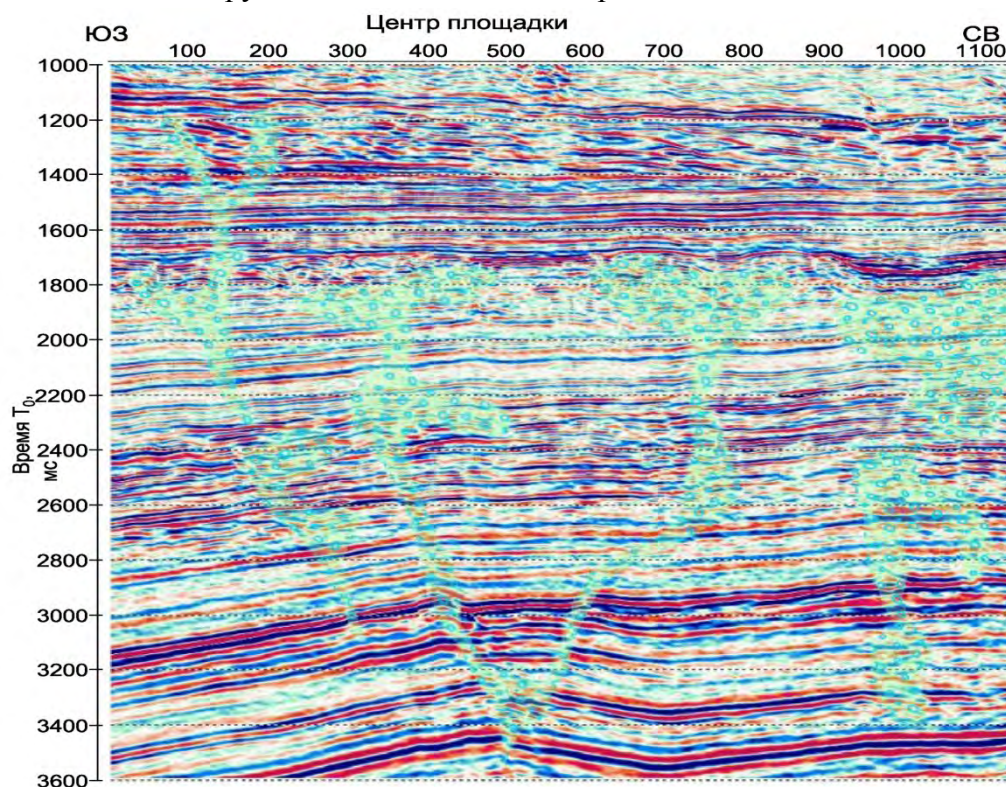


Рис. 4. Пример проявления на сейсморазведочных записях субвертикальных каналов миграции газа в сводовой части структуры.

Однако, крупные придонные скопления аллохтонного метана и связанные с ними газовые сипы обнаружены и за пределами нефтегазоносных структур. В настоящее время неясны источники и пути миграции такого газа. Решение данного вопроса весьма актуально с научной и практической позиций. Особого внимания при последующих исследованиях заслуживает участок проявления сипов, располагающийся между районами №1 и №2, и участок, выделяющийся за пределами нефтегазоносных структур на востоке района 2 (см. рис. 1).

По вопросу получения материалов по указанным участкам следует обращаться в ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть».

### Список литературы

1. Безродных Ю.П., Лисин В.П., Федоров В.И. «Геологические опасности» дна Северного Каспия – методы их выявления и оценки при инженерно-геологических изысканиях// Тезисы конференции EAGE «Инженерная геофизика-2011», М.,2011. Тезисы S1, 6 стр.

2. *Безродных Ю.П. и др.* Газовые сипы на акватории Северного Каспия. Литология и полезные ископаемые, 2013, №5, с.415-425

3. *Lisin V., Bezrodnykh Y., Alexeev A.* [2015] Evaluation of drilling safety at the Caspian shelf using 3D seismic and subbottom profiling data. 77<sup>th</sup> EAGE Conference, Madrid, Expanded Abstracts.



**Опробование магматических пород океанического дна в северной части Тихого океана и Беринговом море на НИС ЗОННЕ в рамках рейсов SO249 BERING.**

**Краснова Елизавета Андреевна<sup>1,2</sup>, Крашенинников Степан Петрович<sup>2</sup>, Назарова Дарья Павловна<sup>2</sup>, Портнягин Максим Владимирович<sup>2,3</sup>, Хернле Кай<sup>3</sup>, Вернер Райнхард<sup>3</sup>, Хауфф Фолькмар<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Геологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Helmholtz Center for Ocean Research Kiel (GEOMAR), Киль, Германия

В рамках российско-германского научного проекта БЕРИНГ летом 2016 года международной командой ученых было произведено драгирование пород океанической литосферы на борту научно-исследовательского судна «Зонне» в акваториях северной части Тихого океана и Берингова моря (рис. 1). Проект включил в себя два рейса: (SO249/1) от Датч Харбор (США, штат Аляска) в Петропавловск-Камчатский (Россия) и (SO249/2) из Петропавловск-Камчатского (Россия) в Томакомай (Япония). Главной целью проекта является комплексное изучение геодинамической, геохимической, петрологической и геохронологической эволюции бассейна Берингова моря. Исследование направлено на детальное понимание происхождения окраинных морей, геодинамической эволюции зон субдукции, а также, на понимание причин и последствий стихийных бедствий (вулканических извержений). В течение двух рейсов была проведена детальная батиметрическая съемка морского дна, были отобраны донные отложения и образцы вулканических и тектонических структур вдоль окраин Берингова моря.

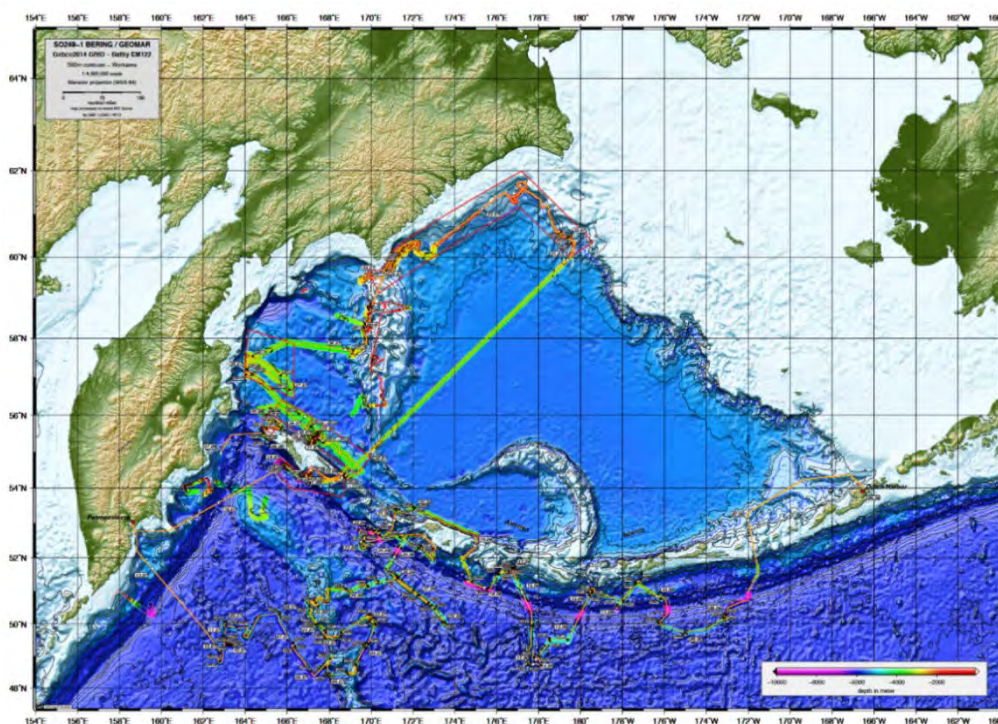


Рис. 1. Батиметрическая карта района проведенных исследований в ходе рейса SO249 на борту НИС «Зонне» с нанесенным маршрутом следования.

В ходе рейса SO249/1 был драгирован широкий спектр образцов океанической литосферы.

В районе разломной зоны Амлия, простирающейся на юг вдоль Тихоокеанской плиты, были отобраны осадочные породы, Сrx-, Pl-, Ol- содержащие базальты, диориты и габбро. Подушечные лавы и гиалокластиты были драгированы вблизи Алеутского глубоководного желоба (подводная гора Адамс), вдоль южного окончания хребта Креста, формирующего северную окраину плато, на котором располагаются Командорские острова (Беринга и Медный), а также, вдоль разломной зоны Крузенштерн. Было проведено несколько успешных драг на нижних склонах преддуговой субдукционной зоны в нижних частях разреза каньонов Адак и Амчитка. Вдоль разломной зоны Рэт, ориентированной на север-юг перпендикулярно к желобу, были собраны четыре драги, включившие множество вулканических (базальты и вулканокластические породы) и глубинных (диоритов) пород, а так же марганцевые корки. Ранее [1, 2, 3] вдоль хребта Стелмейт были драгированы в различной степени метаморфизованные перидотиты. По характеру метаморфизма были предположены крупномасштабные вертикальные тектонические движения и нетипичное для океанических пород выветривание в субаэральных условиях [1]. В ходе рейса 2016 года в том же регионе была собрана коллекция пород, характеризующая полный разрез океанической литосферы и подтверждающая предположенную ранее идею о субаэральном выветривании. Драгированные на хребте Стелмейт образцы перидотитовых (оливиновые ортопироксениты и гарцбургиты), плутонических/субвулканических пород основного и кислого состава (габбро, диориты и, возможно, плагиограниты) и вулканитов (базальтового состава) предоставляют ценную информацию о составе всей земной коры и верхней мантии в зоне субдукции.

В рамках второго рейса производилось опробование морского дна нескольких крупных полигонов, относящихся к разным тектоническим и геодинамическим обстановкам. Были изучены породы основания Командорского блока, представляющие собой разного рода вулканические (афировые базальты, Ol-, Rх-, Pl-базальты, Nbl-андезиты) и вулканогенно-осадочные породы (туффы и вулканогенные брекчии) разной степени свежести и метаморфического преобразования, а так же полнокристаллические интрузивные/субвулканические породы, как в драге SO249-DR148 (долериты, меланократовые габбро и амфиболитизированные габбро). Дальнейшее изучение образцов, поможет оценить геохимические и петрологические характеристики раннего этапа формирования западного сегмента Алеутской зоны субдукции. При опробовании дна ЮВ окраины Чукотского и Корякского нагорья с глубин были подняты лишь осадочные слабо литифицированные породы, а батиметрическое детальное картирование не выявило геоморфологически выраженных структур. Несколько успешных станций было проведено в районе массива Вулканологов и подводного вулкана Пийпа, где были подняты вулканиты слагающие подножие вулкана (толеитовые базальты и пиллоу-лавы), его побочные конуса (Nbl-Pl-андезиты и дациты) и дацитовые/риолитовые пемзы, распространенные в привершинных частях вулкана. Подобное распределение вулканитов может свидетельствовать о смене условий растяжения начальной стадии условиями надсубдукционного вулканизма. Изучение разломных зон Альфа, Гамма и Бетта, характеризующихся повышенным тепловым потоком, позволило пополнить коллекцию вулканитами андезитового и базальтового состава и продуктами их переотложения и метаморфизма. В ходе рейса SO201/2 в 2009 г. [4] были закартированы поднятия в структуре

асейсмичного хребта Ширшова. Новые образцы поднятые в этом районе представляют собой метаморфические породы зеленокаменной фации и практически полный разрез океанической коры (базальты, дуниты, гарцбургиты и габброиды), позволят ответить на вопрос о возрасте и условиях формирования данной структуры, чья геодинамическая позиция до сих пор является дискуссионной.

По завершению двух рейсов было произведено около 150 драгировок, из которых почти 80% принесли в себе магматические и/или метаморфические породы. Итогом рейса в СЗ части Пацифики и Беринговом море явилась колоссальная коллекция уникальных образцов, которая внесет значительный вклад в понимание фундаментальных процессов, происходящих в зоне субдукции и сочленения Алеутской, Камчатской и Курильской островных дуг, а так же позволит получить информацию о зарождении и развитии бассейна Берингова моря.

Данные исследования были проведены при поддержке проекта ВМБФ «BERING», гранта РФФИ №16-05-01055 и гранта РНФ № 14-17-00582.

### Список литературы

[1] Силантьев С.А., Новоселов А.А., Краснова Е.А., Портнягин М.В., Хауфф Ф., Вернер Р. Силификация перидотитов разлома Стэлмейт (северо-запад Тихого океана): реконструкция условий низкотемпературного выветривания и их тектоническая интерпретация // Петрология, 2012, том 20, № 1, с. 1-20

[2] Силантьев С.А., Кепке Ю., Арискин А.А., Аносова М.О., Краснова Е.А., Дубинина Е.О., Зур Г. Геохимическая природа и возраст плагиогранит/габбро-норитовой ассоциации внутреннего океанического комплекса Срединно-Атлантического хребта на  $5 \times 10^7$  ю.ш // Петрология, 2014, том 22, № 2, с. 1-21

[3] Краснова Е.А., Портнягин М.В., Силантьев С.А., Хёрнле К., Вернер Р. Двух-стадийная эволюция мантийных перидотитов разломной зоны Стелмейт (северо-западная Пацифика) // Геохимия, 2013, том 51, № 9, с. 759-772

[4] Portnyagin M, Hoernle K., Werner R., Hauff F., Maicher D., Yogodzinski G., Baranov B., Silantyev S., Wanke M., Krasnova E.. Marine volcanological and petrological studies with R/V SONNE in the NW Pacific and Bering Sea: SO201 KALMAR cruise results // Abstracts of 7<sup>th</sup> Biennial Workshop On Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Mitigating Risk Through International Volcano, Earthquake, And Tsunami Science JKASP-2011. p. 150-153.



**Сейсмоакустическое изучение структуры верхней части слоя осадков во впадине Скан (море Скотия).**

**Шрейдер Александр Анатольевич<sup>1</sup>, Шрейдер Анатолий Александрович<sup>2</sup>, Сажнева Александра Эдуардовна<sup>2</sup>, Клюев Михаил Сергеевич, Галиндо-Зальдивар Хезус<sup>3</sup>, Руано Патриция<sup>3</sup>, Мальдонадо Андрес<sup>4</sup>, Мартос-Мартин Яшмина<sup>4</sup>, Лобо Франческо<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Общество с ограниченной ответственностью “Научно–исследовательский институт экономики и организации управления в газовой промышленности”, Москва, Россия, e-mail: aschr@ocean.ru*

<sup>2</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, e-mail: alexe@ocean.ru*

<sup>3</sup> *Гранадский университет, Гранада, Испания*

<sup>4</sup> *Андалузский Институт наук о Земле, Гранада, Испания*

За последние десятилетие большое внимание исследователей привлекает впадина Скан (Море Скотия), которая является одним из важных геоморфологических элементов юга моря, различного рода геологическим особенностям которой, в т.ч. структуре осадков посвящен ряд работ последнего десятилетия [15, 17, 21 и др.]. В контексте разрушения американо-антарктического континентального моста впадина Скан является весьма важной для восстановления геологической истории новейшего этапа формирования дна моря.

При фрагментировании континентального массива, объединявшего банки Брюса и Дискавери [15], главную роль играло формирование впадины Скан. Впадина имеет длину около 250 км и ширину от 40 км на юге до 150 км на севере. Она представляет собой небольшой, северо-восточного простирания бассейн океанической коры [17] треугольной формы, расположенный на юге моря Скотия к северо-востоку от банки Брюса.

Структура осадочного слоя во впадине Скан изучается, главным образом, с помощью сейсмических методов исследования [15, 17, 18], которые позволили восстановить основные параметры осадочной толщи, в т.ч. морфологию акустического фундамента. Однако в материалах литературных источников отсутствуют данные по самой верхней части осадочного разреза, связанные с новейшим этапом развития дна впадины в позднечетвертичное время. Первому представлению таких данных в ее северной части посвящена настоящая работа. Использованы исходные данные, полученные испанским исследовательским судном (нис) «Гесперида» с помощью система TOPAS PS 18/40, разработанная фирмой Kongsberg (Норвегия) с разрешением вертикальной структуры осадков порядка 10 см. Данные сопровождаются гринвическим временем проведения наблюдений и географическими координатами, определяемыми в системе GPS.

Применение этого комплекса позволило изучить строение приповерхностных осадков в северной части впадины Скан и впервые по исследуемому профилю (рис. 1) выявить их структуру более детально (рис. 2). Ряд методических вопросов, связанных с подобными исследованиями, был изложен в работах [4-8].

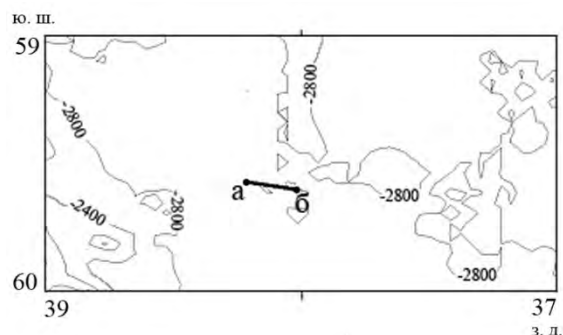


Рис. 1. Район исследований во впадине Скан. Показано положение анализируемого профиля *a-b*. Изобаты в метрах.

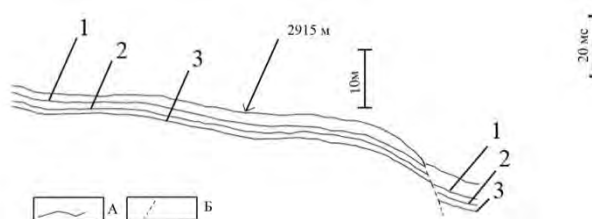


Рис. 2. Сейсмоакустический разрез во впадине Скан вдоль профиля *a-b*. А – подошвы выделенных слоев 1, 2 и 3; Б – обнаруженное нарушение слоистости осадков.

Вдоль профиля наблюдений (рис. 1) непосредственно ниже дна впервые выделено три приповерхностных слоя осадков (рис. 2). Поверхность дна вдоль профиля лежит на глубинах 2908 – 3000 м. Слои имеют относительно выдержанную толщину и хорошо визуализируются вдоль профиля. В правой части разреза фиксируется нарушение (рис. 2), возможно, имеющее тектоническую природу. Суммарная толщина выделенных вдоль профиля трех слоев осадков составляет около 7.7 мс двойного времени пробега. Это существенно дополняет представления о структуре осадочного слоя, известные ранее [18].

В связи с отсутствием в литературе открытого доступа данных о скоростях распространения упругих волн в приповерхностных слоях осадков по впадине Скан были изучены опубликованные материалы измерений таких скоростей по соседним районам, имея в виду применить информацию о скоростях для перевода данных по изучаемому разрезу из временной системы (двойное время пробега) в метрическую. Из указанных материалов приемлемой оказалась работа [20]. В ней приведены скорости сейсмических волн в осадках в море Уэдделла. Наиболее поверхностные осадки характеризуются скоростью продольных сейсмических волн 2 км/с. Это близко к скорости продольных сейсмических волн в других околоантарктических районах (например, [10]). Эта скорость была использована при анализе материалов по указанному разрезу. Общая мощность выделенных трех слоев, а также уровень подошвы самого нижнего слоя относительно дна близки к 8.5 м. Все три слоя входят в толщу седиментационного слоя 1, выделенного в работе [18]. Подошва этого слоя соответствует разделу между позднеплиоценовым и раннеплиоценовым временем, оцениваемым в работе [18] в 3.8 млн. лет. Согласно наиболее современной версии геохронологической шкалы [14], развивающей работу [9], возраст этого раздела составляет не 3.8, а 3.6 млн. лет. Принимая в соответствии с работой [18] среднюю скорость осадконакопления в пределах слоя 1 равной 2.78 см/тыс. лет, получим оценочно с учетом

указанной выше корректировки возраста границы между позднеплиоценовым и раннеплиоценовым временем среднее время отложения вдоль анализируемого профиля и возраст подошвы равным 250 тыс. лет. Данные по слоям анализируемого профиля приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные по слоям анализируемого профиля.

	Средняя мощность		Подошва ниже уровня дна, м	Время отложения, тыс. лет	Возраст подошвы, тыс. лет
	в двойном времени пробега, мс	в м			
Слой 1	3.2	4.0	4.0	115	115
Слой 2	2.1	2.5	6.5	76	191
Слой 3	1.6	2.0	8.5	59	250
Итого по трём слоям	7.7	8.5	8.5	250	250

Сравнение возрастов границ, разъединяющих выделенные осадочные слои, с теплыми и холодными периодами по данным литературы открытого доступа [16, 23] позволило выявить совпадения: граница с возрастом 191 тыс. лет совпадает по времени с разделом между теплым (стадия 7) и холодным (стадия 6) периодами, граница с возрастом 250 тыс. лет близка по времени к разделу между теплым (стадия 7) и холодным (стадия 8) временем, датируемому как 243 тыс. лет [16, 23]. Вместе с тем в интервале 0-250 тыс. лет в слоистости, выделяемой на анализируемом профиле, некоторые известные в [16, 23] чередования теплого и холодного времени аппаратурой TOPAS PS 18/40 не выявлены. Возможно это явилось следствием недостаточно резких температурных контрастов теплых и холодных времен. Акустические характеристики слоев указанного разреза с учетом данных [1, 2, 3, 11, 18, 20, 24, 25, 26] позволяют предположить, что осадки с большой вероятностью могут быть представлены хемипелагическими терригенными алевроитово-пелитовыми илами с прослоями турбидитов, а также продуктами ледового разноса.

Полученная в результате исследований с помощью системы TOPAS PS 18/40 информация является первой и используется для формируемого по морю Скотия на базе Андалузского Института наук о Земле (Гранада, Испания) банка такого рода данных, структура и объем которого находятся в процессе становления и развития.

Методические аспекты настоящего исследования прорабатывались в рамках Государственного задания проект № 0149-2014-0030, а результативная часть работы выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 15-05-00444 и проекту № 14-05-00015.

### Список литературы

1. *Дмитренко О.Б., Лукашина Н.П., Оськина Н.С.* Верхнечетвертичная биостратиграфия и условия образования донных осадков колонки АСВ-17-1447 Юго-Западной Атлантики по микрофоссилиям // *Океанология*. 2012. Т.52. №2. С. 270-281.
2. *Левитан М.А., Рощина И.А., Толмачева А.В.* Геохимические особенности отложений континентального склона моря Уэдделла и их палеоокеанологическая интерпретация // *Литология и полезные ископаемые*. 2008. №2. С. 128-142.

3. Левитан М.А., Штайн Р. История скоростей осадконакопления в ледовой зоне седиментации за последние 130 тыс. лет // Литология и полезные ископаемые. 2008, №1. С. 74-86.
4. Сажнева А.Э. Методика формирования 3D-изображений дна водоемов по данным интерферометрического гидролокатора бокового обзора // Океанология. 2009. Т. 49. № 4. С. 622-624.
5. Сажнева А. Э. Применение стереограмм для визуализации форм рельефа дна // Океанология. 2013. Т. 53. № 3. С. 408-411.
6. Сажнева А.Э. Технологии выявления скрытой информации изображений (на основе гидролокационных исследований). М.: Научный мир, 2013. 86 с.
7. Сажнева А. Э. Использование структурных особенностей донного рельефа при выявлении опасных для инженерных сооружений участков морского дна //Геориск. 2015. №2. С.38-40
8. Сычев В.А., Сажнева А.Э. Акустические стереоизображения поверхности дна // Океанология. 2006. Т.46. № 5. С.795-798.
9. Шрейдер А.А. Магнетизм океанической коры и линейные палеомагнитные аномалии. Физика Земли, 1992, № 6, С.59-70.
10. Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Галиндо–Зальдивар Х., и др. Строение коры пролива Брансфилд // Океанология. 2015. Т. 55. № 1. С. 126–138.
11. Diekmann B., Futterer D.K., Grobe H. et al. Terrigenous Sediment Supply in the Polar to Temperate South Atlantic: Land-Ocean Links of Environmental Changes during the Late Quaternary // The South Atlantic in the Late Quaternary: Reconstruction of Material Budget and current systems. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag. 2004. P. 375-399.
12. Galindo-Zaldivar J., Martos Y., Schreider A. et al. Variability of oceanic spreading in Scan basin from magnetic anomalies standpoint (Southwestern Scotia Sea, Antarctica) // XII ISAES Symp. Proc. Goa. 2015. P. 272.
13. Galindo-Zaldivar J., Puga E., Bohoyo F. et al. Magmatism, structure and age o Dove Basin (Antarctica): A key to understanding South Scotia Arc development // Glob. Planet. Change. 2014. V.122. P. 50–69.
14. Gradstein F., Ogg J., Schmitz M., Ogg G. The Geologic Timescale 2012 // Elsevier. 2012, 1139 p.
15. Hernandez-Molina F. J., Bohoyo F., Naveira Garabato A. et al. The Scan Basin evolution: Oceanographic consequences of the deep connection between the Weddell and Scotia Seas (Antarctica) // U.S. Geological Survey and The National Academies. 2007. P1047-1-P1047-5.
16. Lisiecki L. E., Raymo M. E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic D18O records // Paleoceanography. 2005. V.20. PA1003.P. 1-17.
17. Lobo F, Hernández-Molina F. J., Bohoyo F. et al. Furrows in the southern Scan Basin, Antarctica: interplay between tectonic and oceanographic influences // Geo-Mar Lett. 2011. V. 31. P.451–464.
18. Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F. et al. Contourite deposits in the central Scotia Sea: the importance of the Antarctic Circumpolar Current and the Weddell Gyre flows // Palaeogeography, Palaeoecology. 2003. V. 198. P. 187-221.
19. Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F. et al. Miocene to Recent contourite drifts development in northern Weddell Sea (Antarctica) // Glob. Planet. Change. 2005. V. 45. P. 99-129.

20. *Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J. et al.* Ocean basins near the Scotia-Antarctic plate boundary: Influence of tectonics and paleoceanography on Cenozoic deposits // *Mar. Geoph. Res.* 2006. V. 27. P. 83-107.
21. *Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J. et al.* A model of oceanic development by ridge jumping: Opening of the Scotia sea. // *Glob. Planet. Change.* 2014. V.122. P. 152–173.
22. *Pistolato M., Quiaia T., Marinoni L. et al.* Grain Size, Mineralogy and Geochemistry in Late Quaternary Sediments from the Western Ross Sea outer Slope as Proxies for Climate Changes // *Antarctica: Contributions to global earth sciences.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York. 2006. P. 423–432.
23. [www.lorraine-lisiecki.com/LR04\\_MISboundaries.txt](http://www.lorraine-lisiecki.com/LR04_MISboundaries.txt). 2016
24. *Weber M.* Late Quaternary sedimentation at the continental margin of the southeastern Weddell Sea // *Ber.Polarforsch.* 1992. №109. 165p.
25. *Weber M. E., Bonani G., Fütterer K. D.* Sedimentation processes within channel-ridge systems, southeastern Weddell Sea, Antarctica // *Paleoceanography.* 1994. V. 9. №. 6. P. 1027-1048.
26. *Weber M.E., Kuhn G., Sprenk D. et al.* Dust transport from Patagonia to Antarctica – A new stratigraphic approach from the Scotia Sea and its implications for the last glacial cycle // *Quaternary Science Reviews.* 2012. V. 36.P.177-188.

## **Редкоземельные элементы как индикатор источников марганца в поверхностных осадках котловины Дерюгина (Охотское море).**

**Михайлик П.Е., Еловский Е.В., Михайлик Е.В., Блохин М.Г.**

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток*

Редкоземельные элементы и иттрий (REY), который рассматривается как геохимический двойник гольмия (согласно близости величин их ионных радиусов ( $\text{Ho}^{3+}$  - 0,901Å;  $\text{Y}^{3+}$  - 0,900Å) и электроотрицательности ( $\text{Ho}^{3+}$  - 1,10;  $\text{Y}^{3+}$  - 1,11) (Bau, Dulski, 1995)) являются уникальной группой элементов и заслуживают отдельного рассмотрения. Это связано, в первую очередь, со свойством REY чутко реагировать на изменение физико-химических условий формирования горных пород, что является важным для определения генезиса геологических «объектов». Чтобы уловить нюансы в изменении состава REY в природных процессах, необходимо исключить влияние разной распространенности редких земель. Это достигается нормализацией изучаемых составов REY к их составу в хондритах или в сланце (Дубинин, 2006).

Первое исследование неполного спектра (8 из 15) редкоземельных элементов в донных осадках центральной части Охотского моря проведено М.А. Левитаном с соавторами (2007). Ими установлено, что состав РЗЭ является результатом смешения редких земель из различных терригенных и биогенных источников. Ими же была установлена европиевая аномалия ( $\text{Eu}_{\text{ан}}$ ), величина которой зависит от соотношения количества диатомей и радиолярий. Изучение валового состава полного спектра РЗЭ донных осадков в Охотском море (котловина Дерюгина) было выполнено В.В. Саттаровой с соавторами (2014) [5]. Результатом этой работы также явился вывод о доминировании терригенного источника РЗЭ. Таким образом, исходя из имеющихся данных, состав РЗЭ осадков котловины Дерюгина зависит от состава пород питающей провинции, а также циркуляции водной массы, причем объемы и территориальная распространенность терригенного материала, поступающего в акваторию Охотского моря, отдельных питающих провинций зависит от климатической изменчивости (Деркачев и др., 2004).

В настоящее время по данным А.С. Астахова с соавторами (2007) в котловине Дерюгина развита активная флюидодинамика, что, вероятно, должно отразиться на составе РЗЭ донных осадков, которые обогащены марганцем относительно фоновых до 35 раз. Высказано предположение, что источником этого элемента являются гидротермальные плюмы, эпизодически возникающие в водной толще над низкотемпературными гидротермальными источниками Баритовых гор (Астахов и др., 2007). Существует иная точка зрения об источниках Mn в котловине Дерюгина. Аномально высокие концентрации этого элемента связаны с классической схемой седиментационно-диагенетического марганцевородного процесса, реализуемого в бассейнах с периодическим сероводородным заражением (Деркачев и др., 2007).

Для выяснения истины данного вопроса нами была проведена работа по использованию данных по содержанию лантаноидов в минеральных фазах осадков котловины Дерюгина, полученные последовательным селективным выщелачиванием по методике, изложенной в (Koschinsky, Hein, 2003).

Материалом для изучения послужили образцы осадков, отобранные в котловине Дерюгина на станциях Lv54-41-3 (54°00.396 с.ш.; 146°25.551 в.д., глубина 1437 м) и Lv61-5 (54 00.617 с.ш.; 146 25.467, глубина 1450 м), в 54-м (2011 г.) и 61-м (2013 г.) рейсах НИС



"Академик М.А. Лаврентьев", в районе Баритовых гор (Охотское море). Осадки, поднятые дночерпателем «Океан 25» на борт судна, представлены восстановленными оливково-серыми кремнистые диатомовые илами, на которых залегают окисленные коричневые диатомовые илы толщиной до 5 см. В работе изучено распределение REY в валовой пробе, а также в реакционноспособных (подвижных или лабильных) формах и алюмосиликатном «каркасе» окисленных осадков во фракциях  $< 20$  мкм и с размером частиц  $\leq 1$  мм.

Содержание REY в обеих фракциях донного осадка котловины Дерюгина показывает, что они, в основном, концентрируются в алюмосиликатной и железистой фазах. Тонкая часть осадка, занимающая около 30 % от общего объема пробы, содержит REY примерно вдвое больше, чем их концентрация в валовой пробе. Причем соотношение количества REY в концентрирующих фазах двух фракций осадка примерно одинаковое (железистая - 29-32%, алюмосиликатная - 53-56%) и составляет около 90 % всех REY. Наименьшим концентратором REY в осадке котловины Дерюгина является марганцевая составляющая. Она концентрирует не более 5% REY, а на долю карбонатов и легкоизвлекаемых форм REY приходится около 6-8%. Таким образом, основным концентратором редких земель в осадке котловины Дерюгина является фракция  $< 20$  мкм.

Редкоземельные элементы малоподвижны в зоне гипергенеза, что в свою очередь отражается в составе речной взвеси, которая должна соответствовать среднему составу REY материнских пород. Это обусловлено низкой миграционной способностью этих элементов в нейтральной, слабощелочной и слабокислой среде, где их растворенные формы представлены прочными гидроксокомплексами (Савенко, 2006).

Основная часть терригенного материала, поступающая в акваторию Охотского моря, в частности в котловину Дерюгина, связана с ледовым разносом и твердым стоком р. Амур (Деркачев и др., 2004). Уровень содержания и характер распределения REY в твердом стоке р. Амур наследуется докайнозойскими гранитоидами и метаморфическими породами «амурской серии», распространенными в бассейне реки (Сорокина, Зарубина, 2001). Такое распределение наследует состав REY донных осадков котловины Дерюгина. Это связано с высокой скоростью осадконакопления в окраинных морях, где состав осадочного материала практически не подвергается изменению. Таким образом, данные по распределению REY в поверхностных осадках котловины Дерюгина показывают, что главным источником осадочного материала является твердый сток р. Амур.

Проведенное нами изучение распределение сланец нормализованных REY тонкой фракции показало, что оно аналогично составу REY лёсса китайских пустынь (Um, et al., 2013). Следовательно, поставка глинистого вещества в глубоководные части Охотского моря осуществляется также и эоловым способом. А количество «диатомовой» составляющей не оказывает большого влияния на содержание REY в терригенной матрице осадка вследствие того, что их концентрация в ней гораздо выше, чем в створках диатомей (Деркачев и др., 2004).

Положительная европиевая аномалия в донных осадках котловины Дерюгина, выявленная, как В.В. Сатаровой с соавторами (2014), так и в данной работе ( $Eu_{ан}=1,30$ ) может объясняться наличием довольно большого количества плагиоклаза в общем объеме пробы, что является следствием интенсивного потока терригенного вещества в акваторию Охотского моря, и не является следствием гидротермальной деятельности. Так как тонкая фракция осадка, являющаяся основным концентратором REY, не накапливает европий ( $Eu_{ан}=0,91$ ).

По распределению REY в валовых пробах осадка котловины Дерюгина можно сделать вывод об отсутствии влияния гидротермальных источников в накоплении марганца. Интерпретируя данные, полученные при рутинном валовом анализе полиминеральных осадков котловины Дерюгина, становится очевидным доминирующая роль диагенетического источника марганца.

Изучение распределения REY в реакционноспособных формах осадка двух фракций, включающих аутигенное минералообразование, показало, что REY связанные с оксигидроксидами железа близки составу REY гидротермальных Fe-Mn корок западной Пацифики. Марганцевая составляющая тонкой фракции осадка характеризуется составом REY близким для марганцевой фазы диагенетических железомарганцевых кольцеобразных конкреций котловины Дерюгина. Распределение REY в марганцевой фазе алеврито-псаммитовой части осадка имеет большое сходство с фракционированием REY в гидротермальных Fe-Mn образованиях Андаманского моря (Индийский океан) (Parakash et al., 2012), а также частично повторяют состав REY гидротермальных Fe-Mn корок Японского моря (Михайлик и др., 2014) (Рис. 1). Распределение REY в легкоизвлекаемой составляющей двух фракций осадка близко, эта же тенденция сохранена и в алюмосиликатной фазе осадка.

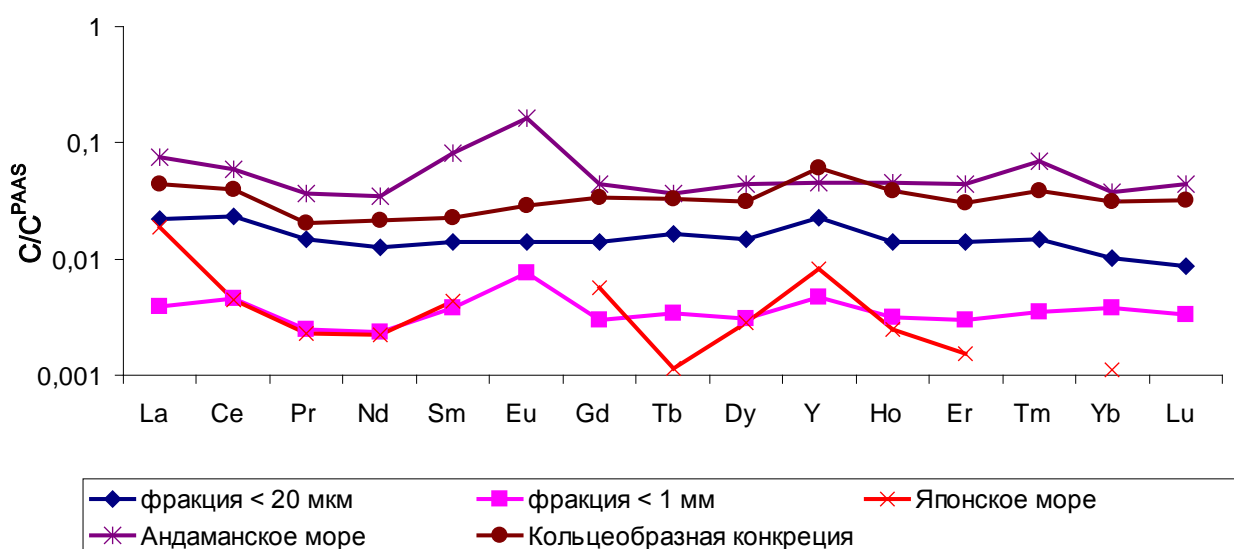


Рис. 1. Распределение сланец (PAAS по (McLennan, 1989)) нормализованных REY в марганцевой фазе донных осадков котловины Дерюгина фракций < 20 мкм и < 1мм в сравнении с распределением REY в марганцевой фазе гидротермальных Fe-Mn корок Японского (Михайлик и др., 2014) и Андаманского (Parakash et al., 2012) морей, а также диагенетических железомарганцевых кольцеобразных конкреций котловины Дерюгина (наши данные).

Высокая концентрация Eu, выраженная в наличии положительной европиевой аномалии в марганцевой ( $Eu_{ан}=2,25$ ) и железистой ( $Eu_{ан}=1,25$ ) фазах осадка фракции  $\leq 1$  мм могут указывать на гидротермальный источник этих элементов. С другой стороны накопление Eu железомарганцевыми оксигидроксидами происходит при их формировании в иловой воде морских осадков в анаэробных условиях (Sverjensky, 1984) с высоким содержанием органического вещества. Такие условия зарегистрированы в котловине Дерюгина, где осадки содержат до 2,96% общего органического углерода (Саттарова и др., 2013), а придонные

воды недосыщены кислородом (Осадконакопление, 2008). В этих условиях происходит восстановление европия до двухвалентного состояния, в котором он наиболее подвижен. В результате в поверхностные осадки котловины Дерюгина происходит дополнительная диагенетическая поставка этого элемента.

Таким образом, данные по валовому распределению REY в поверхностных осадках двух фракций котловины Дерюгина указывают на преимущественно их терригенный источник. Детальное изучение составов REY в минеральных фазах осадков в районе «Баритовых гор» указывает на возможную дополнительную гидротермальную поставку марганца. Однако отсутствие данных по распределению REY в марганцевой фазе восстановленных осадков требует проверки данного предположения. Не исключено, что источник марганца в осадки котловины Дерюгина полигенный, а высокие концентрации этого элемента являются суммирующим итогом гидротермального и диагенетического процессов развитых в этом регионе с эпизодическим доминированием одного из них.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00005 мол\_а и проекта ДВО РАН № 15-I-1-008.

### Список литературы

*Астахов А.С., Сатарова В.В., Свининников А.И., Астахова Н.В., Доманов М.М., Иванов М.В.* Марганцевые металлоносные осадки котловины Дерюгина Охотского моря: химический состав, геологические условия формирования // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26, №5. С. 13-31.

*Деркачев А.Н., Николаева Н.А., Горбаренко С.А.* Особенности поставки и распределения кластогенного материала в Охотском море в позднечетвертичное время // Тихоокеанская геология. 2004. Т.23, №1. С. 37-52.

*Дубинин А.В.* Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука. 2006. 360 с.

*Левитан М.А., Лукша В.Л., Толмачева А.В.* История седиментации в северной части Охотского моря в течении последних 1.1 млн лет // Литология и полезные ископаемые. 2007. №3. С. 227-224

*Михайлик П.Е., Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г.* Новые данные о распределении редкоземельных элементов и иттрия в гидротермально-осадочных Fe-Mn корках Японского моря по данным фазового анализа // ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК. 2014. Т. 454, №3. С. 322-327

*Осадконакопление и рудогенез во впадине Дерюгина (Охотское море) / А.С. Астахов и др.: Владивосток: Дальнаука. 2008. 289 с.*

*Савенко В.С.* Химический состав взвешанных наносов рек мира. М.: ГЕОС. 2006. 175 с.

*Сатарова В.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г., Марьяш А.А.* Редкоземельные элементы в поверхностных осадках впадины Дерюгина Охотского моря // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33, №2. С. 109-117.

*Сорокина О.А., Зарубина Н.В.* Химический состав отложений среднего течения р. Амур // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 3-, №5. С. 105-113.

*Bau M., Dulski P.* Comparing yttrium and rare earths in hydrothermal fluids from the Mid-Atlantic Ridge: implications for Y and REE behaviour during near-vent mixing and for the Y/Ho ratio of Proterozoic seawater // Chemical Geology. 1999 V. 155. P. 77-90.

*Koschinsky A. and Hein J. R.* Acquisition of elements from seawater by ferromanganese crusts: Solid phase associations and seawater speciation // *Mar. Geol.*, 2003. V.198. P. 331–351.

*McLennan S. M.* Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes / *Geochemistry and Mineralogy of the Rare Earth Elements* (Lipin, B. R. and McKay, G. A., eds.) // 1989. *Rev. Mineral.* 21, 169–200.

*Prakash L.S., Ray D., Paropkari A. L., et al* Distribution of REEs and yttrium among major geochemical phases of marine Fe–Mn-oxides: Comparative study between hydrogenous and hydrothermal deposits // *Chemical Geology*. 2012. V. 312-313. P. 127–137

*Sverjensky D.A.* Europium redox equilibria in aqueous solution // *Earth and Planetary Science Letters*. 1984. V.67. P. 70–78.

*Um I., Choi M.S., Bahk J.J., Song Y.H.* Discrimination of sediment provenance using rare earth elements in the Ulleung Basin, East/Japan Sea // *Marine Geoljgy*. 2013. V.346. P. 208-219.

## **Особенности строения глубоководной осадочной системы Хурай (оз. Байкал) по сейсмоакустическим данным.**

**Соловьева Марина Андреевна<sup>1</sup>, Ахманов Григорий Георгиевич<sup>1</sup>, Хлыстов Олег Михайлович<sup>2</sup>, Почевалова Анна Валерьевна<sup>1</sup>, Ченский Александр Геннадьевич<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> – *Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>2</sup> – *Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск*

<sup>3</sup> – *Иркутский Национальный Исследовательский Технический университет, г. Иркутск*

С 2014 года в рамках экспедиций TTR-Class@Baikal ведётся комплексное геолого-геофизическое исследование глубоководной осадочной системы Хурай, расположенной в средней котловине озера Байкал. Интерес к её изучению вызван уникальным строением русловой системы и наличием эрозионного вреза в дистальной части системы, пересекающего подводную тектоническую ступень.

В экспедиции 2014 года были проведены первые работы по донному пробоотбору в районе каньона на тектоническом уступе. На батиметрической карте дна перед каньоном прослеживался канал, предположительно начинающийся с пади Хурай на юго-восточном берегу острова Ольхон.

В 2015 году в центральной части осадочной системы были проведены сейсмоакустические исследования с гидролокатором бокового обзора и профилографами. В работах использовался набортный профилограф с линейной модуляцией частот от 1 до 10 кГц, а также буксируемый профилограф с центральной частотой 5 кГц, совмещённый в едином корпусе с гидролокатором бокового обзора, работающего на частоте 30 кГц. В результате были получены высокочастотные сейсмоакустические данные, которые позволили детально изучить строение донных отложений до глубин около 30 м.

На полученных данных были обнаружены понижения в рельефе дна, прослеживаемые от профиля к профилю и предположительно являющимися каналами перемещения вещества. Эти исследования позволили определить сложное разветвлённое строение системы глубоководных каналов и построить предварительную схему распределения русел. Результаты донного пробоотбора подтвердили, что они являются путями переноса турбидитного материала.

В экспедиции TTR-Class@Baikal в 2016 году были проведены значительные работы по донному опробованию в районе канала Хурай. Корректная интерпретация новых данных потребовала уточнения строения глубоководной осадочной системы и расположения русел. Первоначальное выделение каналов по признаку значительных понижений в рельефе дна оказалось недостаточным, поскольку в центральной части системы каналы обладают малой глубиной (до 3 м) при сравнительно больших поперечных размерах (до 300 м в ширину). В связи с этим большое внимание было уделено характерным особенностям волновой картины, а также геометрическим параметрам русел на соседних профилях.

На основе повторного детального рассмотрения сейсмоакустических профилей были выделены несколько характерных черт, присущих отдельным каналам (Рис. 1). К ним можно отнести наличие акустически прозрачных прирусловых валов, потерю слоистости сейсмической записи под руслом и в его окрестностях, повышение амплитуды донного отложения в русле. В редких случаях под дном каналов наблюдалась высокоамплитудная граница типа HARP (high-amplitude reflection packages). Определение характерных особенностей позволило проследить по выделенным признакам слабовыраженные в рельефе

русла и уточнить первоначальную схему их распределения. Кроме того, удалось обнаружить признаки палео-врезов и проследить каналы, ныне не выраженные в рельефе дна.

Обнаружение погребённых каналов, а также каналов, чьи русла заполнены большим объёмом осадочного материала, свидетельствует о длительном развитии глубоководной осадочной системы. Результаты исследований кернов донного пробоотбора гравитационными трубами позволяют предположить периодичность активизации каналов и восстановить последовательность путей переноса материала. Для построения детальной схемы русловой системы и определения источника сноса материала требуются дальнейшие исследования.

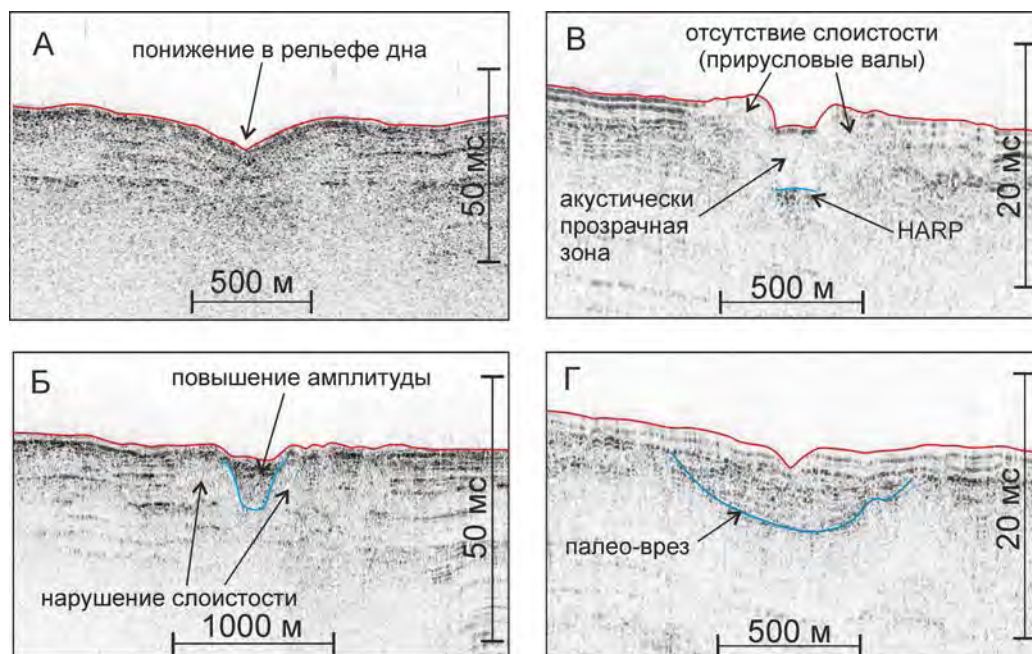


Рис. 1. Типы каналов на данных профилографа, выделенных по характеру волновой записи и форме донного отражения.



**Тенденции развития рельефа фиардово-шхерных побережий по данным крупномасштабного геоморфологического картографирования берегов и дна пролива Великая Салма (Кандалакшский залив Белого моря).**

**Репкина Татьяна Юрьевна, Аляутдинов Али Раисович, Ильясов Аскар Кургамысович, Луговой Николай Николаевич, Мишурицкий Дмитрий Владимирович, Романенко Фёдор Александрович, Тарнопольский Дмитрий Александрович, Энтин Андрей Львович**

*Географический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (ФГБУ), г. Москва*

Рельеф дна заливов и проливов фиардово-шхерных побережий, в частности заливов и губ окрестностей Беломорской биологической станции МГУ, представляет собой сочетание структурно-тектонических и ледниковых форм, частично преобразованных процессами подводного морфолитогенеза. В результате продолжающегося поднятия все новые участки морского дна появляются над уровнем моря, перестраиваясь в береговой зоне (БЗ) под действием волновых, приливно-отливных, ледовых и биогенных процессов. На поднятых террасах побережья возникают закономерные последовательности отчлененных морских акваторий, меромиктических водоемов, сохраняющих горизонты реликтовых морских вод, что свидетельствует о недавней изоляции, пресноводных озер, болот. В условиях преимущественно денудационного облика террас такие пониженные и заполненные морскими и озерно-болотными отложениями ванны служат основным источником палеогеографической и палеодинамической информации. Гидрологическим и биотическим изменениям, происходящим в меромиктических водоемах района на разных стадиях изоляции, в последние годы посвящены масштабные исследования (Краснова и др., 2013, Фролова и др., 2015). Геоморфологические условия образования таких водоемов пока не описаны. Какие черты подводного рельефа, процессы в береговой зоне способствуют появлению отчлененных водоемов? О каких событиях на берегах голоценовых морей свидетельствуют такие бассейны на поднятых террасах? Механизмы возникновения отчлененных водоемов как частный случай трансформации рельефа дна в береговой зоне исследованы на примере озера Кисло-Сладкое, расположенного на южном берегу пролива Великая Салма на траверсе Еремеевского порога.

Цель исследования: по данным крупномасштабного геоморфологического картографирования берегов и дна пролива Великая Салма выявить характер трансформации донного рельефа в береговой зоне, определить тенденции развития рельефа побережья.

Работы выполнены в ходе учебных практик студентов второго курса кафедр картографии и геоинформатики (июнь 2015 г.), геоморфологии и палеогеографии (июнь 2016 г.) географического факультета МГУ.

В качестве основы геоморфологического картографирования составлена единая цифровая модель рельефа побережья и дна пролива Великая Салма в районе оз. Кисло-Сладкого (рис. 1), объединившая разнородные топографические и батиметрические данные.

Топографический план масштаба 1:500 с сечением горизонталей 0,25 м составлен по данным тахеометрической съемки окрестностей оз. Кисло-Сладкого, выполненной в июне 2015 г. студентами-картографами (Создание..., 2015). Съемка на площади 63206,3 м<sup>2</sup> велась с помощью тахеометров Trimble 5605DR200+ и Trimble 3305DR с 8 реперных точек, планово-высотное положение которых определено при помощи ГНСС-измерений,

теодолитного и нивелирного ходов. Для 5025 пикетов установлено плановое положение в системе координат СК-42 и высота в Балтийской системе нормальных высот. Средняя плотность расстановки пикетов 0,08 точек/м<sup>2</sup> (около 8 пикетов на площадку 10 × 10 м). Первичная обработка данных проведена с помощью ПО Trimble Business Center, Trimble Geomatic Office, Microsoft Excel. В ходе съемки для каждого из пикетов определена их геоморфологическая позиция, что послужило основой создания карты геоморфологических уровней окрестностей озера.

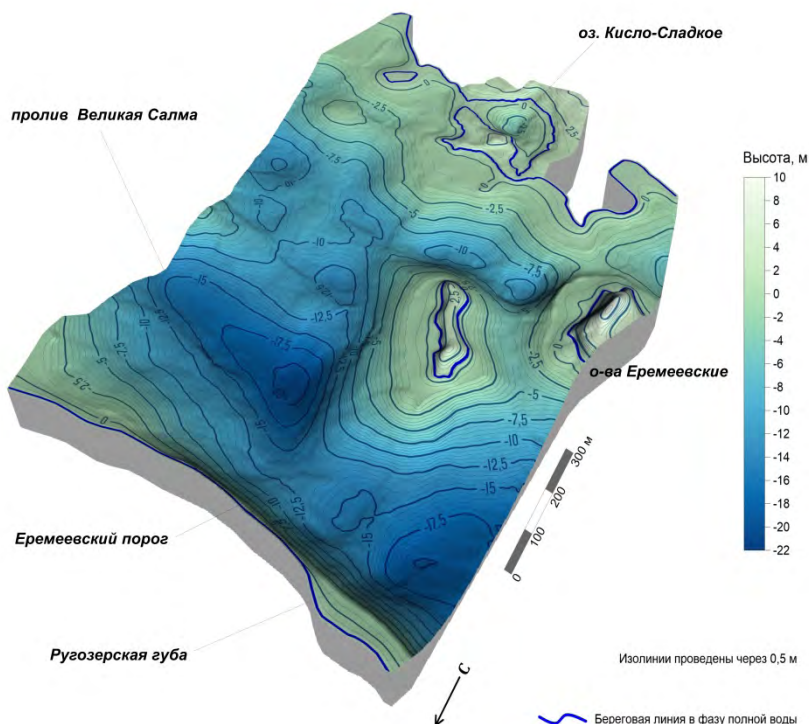


Рис. 1. Блок-диаграмма рельефа побережья и дна пролива Великая Салма.

В июне 2016 г. на основе топографического плана силами студентов-геоморфологов проведена детальная геоморфологическая съемка участка. Работы включали геоморфологическое профилирование, сопровождавшееся изучением состава наносов береговой зоны и отложений террас с отбором образцов на гранулометрический анализ. Подробно фиксировались морфологические и биоиндикационные признаки динамики берегов. Привязка к топографической основе осуществлялась с помощью портативных GPS и измерений мерной лентой от реперов. Результатом работ стали серия геоморфологических профилей и геоморфологическая карта окрестностей оз. Кисло-Сладкого масштаба 1:500 (Отчет..., 2016), уточнившая и дополнившая карту геоморфологических уровней 2015 г. Наличие детальной топографической основы позволило определить высотное положение низких террас, элементов рельефа береговой зоны, верхней и нижней границ воздействия волнения и приливов.

Параллельно проведена батиметрическая съемка акватории пролива Великая Салма и оз. Кисло-Сладкого. Съемка выполнена однолучевым эхолотом Lowrance LMS-480 (частота излучателя 200 кГц, охват 60°, разрешающая способность 0.1 м), установленным на моторной лодке. Отметки глубин в футах и координаты точек промеров в проекции Меркатора фиксировались в среднем через 200 мс. Промерные галсы заложены на акватории пролива через 50 м, а в озере – через 20 м (всего 22891 и 2042 точки промеров

соответственно). Первичная обработка батиметрических данных включала пересчет отметок глубин в метры, а координат – в проекцию UTM (зона 36), внесение поправок на заглупление датчика и приливные колебания уровня моря. Благодаря тому, что тахеометрическая и батиметрическая съемка охватывали приливную осушку, удалось связать отметки глубин с Балтийской системой высот (точность не хуже 0,5 м). Прибрежные отметки глубин заверены дешифрированием космического снимка WorldView-1 (пространственное разрешение 0.5-0.59 м, съемка 09.08.2010 в фазу малой воды). На снимке по характерным элементам рельефа (бровка валунного пояса, контакт пляжей и маршей с луговой террасой) определено среднее положение береговой линии в малую и полную воду. Батиметрические данные визуализированы с помощью ПО ArcGIS (ArcMap). В ходе батиметрической съемки портативными GPS фиксировалось положение характерных элементов рельефа (бровки и подножия склонов, подводные гребни, днища желобов, ложбины и т.д.). Результаты наблюдений, наряду с данными донного опробования и характеристикой поверхности морского дна, полученной благодаря функции эхолота Grayline®, позволили провести геоморфологическую интерпретацию батиметрической информации, составить геоморфологические профили и карту рельефа дна масштаба 1:5500.

Совмещенная цифровая модель рельефа побережья и дна пролива (рис. 1) получена путём интерполяции точек промеров глубин, горизонталей с топографического плана масштаба 1:500 и топографической карты масштаба 1:25 000, а также контуров береговой линии, соответствующей фазе полной воды (сизигий). Обработка участков модели, соответствующих рельефу суши, подводному рельефу пролива Великая Салма и подводному рельефу озера Кисло-Сладкого производилась отдельно. Фрагмент модели, соответствующий рельефу суши, был получен на основе горизонталей с топографических карт и контуров береговой линии путём их интерполяции в среде ArcGIS (алгоритм *Topo to Raster*). Фрагменты модели, соответствующие подводным участкам (пролив Великая Салма, озеро Кисло-Сладкое), построены на основе промеров глубин, дополненных сведениями о положении береговой линии. Промеры глубин были распределены в пространстве неравномерно, поэтому для интерполяции использовался не полный их набор, а случайная выборка в объёме 35% от общего количества измерений. Интерполяция этих данных проводилась по методу универсального кригинга. Полученные фрагменты соединены и обработаны осредняющим фильтром (скользящее окно 5×5). Визуализация построенной модели выполнена в пакете Surfer версии 13.03.

Создание единой цифровой модели побережья и дна акватории позволило установить закономерности трансформации донного рельефа в береговой зоне.

Северную часть акватории занимают экзарационно-тектонические желоба губы Ругозерская (до -21 м) и пролива Великая Салма (до -22 м), разделенные на траверсе о. Мал. Еремеевский горстообразной ступенью Еремеевского порога средней глубиной 13.5-14 м. Северные борта желобов крутые (до 32°), сложены скальными породами, приурочены к разлому, ограничивающему о. Великий с юга (Государственная..., 1959), как и днища желобов, прямолинейны. К ЮВ от о. Мал. Еремеевский средняя глубина пролива уменьшается до 7-10 м, максимальная – до 15 м. Структурный облик рельефа осложнен налегающими на скальное основание моренными холмами и грядами высотой 2-6 м. С ЮЗ пролив ограничен Еремеевскими островами с относительно крутыми (5-15°) подводными склонами, а с юга - неровным подводным склоном п-ова Киндо (преобладающие уклоны 5-8°), осложненным ступенями, холмами и западинами. В результате эрозии приливных

течений, чехол морских отложений фрагментарен, часты каменные отмостки – продукт селективного размыва морены. Донные осадки удалось отобрать лишь между о. Мал. Еремеевский и выступом берега у оз. Кисло-Сладкого, перед небольшим порогом, разделяющим торрентогенную ложбину на две ванны. Отложения течений представлены крупно-среднезернистыми песками с галькой и гравием.

Нижняя граница современной БЗ, в зависимости от конфигурации берега, контролирующей угол подхода и интенсивность волнения, изменяется от -1.5 до -5 м. При средних высотах волн 0.2 м и максимальных до 1 м (ЕСИМО, Кандалакша, 1977-2006 гг.) регулярное волновое воздействие испытывает лишь верхняя часть подводного берегового склона (ПБС) с глубинами до 2-3 м. Берег в районе оз. Кисло-Сладкого открыт ветрам С-СВ-В румбов, повторяемостью в месяцы безледного периода 17-55% (ЕСИМО, Ковда, 1977-2006 гг.). Однако, судя по относительно тонкому (тонко-мелкозернистые пески) составу наносов, отобранных с глубины 2.5 м, интенсивность волнения не велика. ПБС имеет сложную конфигурацию, неровный, крутизной 2-7°, сохраняет останцы форм, реликтовых для зоны волновой переработки. К СВ от оз. Кисло-Сладкого на глубинах 3.5-1.5 м обнаружен вытянутый вдоль берега холм относительной высотой 1.5-2 м, отделяющий от открытой акватории западину глубиной около 0.5 м. Формы ледниковой аккумуляции эродированы течениями и, в меньшей степени, волнением, частично (?) закрыты отмостками. Заметно более интенсивная перестройка рельефа – в основном размыв морены и морских голоценовых глин, сортировка и транзит наносов, происходит в верхней части береговой зоны под действием волнения, припая, приливных течений (Романенко и др., 2012, Репкина и др., 2013, 2015). На обстановки размыва указывает резкое выполаживание поверхности приливной осушки (0.5-2°), малая (до 0.2-0.5 м) мощность наносов. Аккумулятивные формы – корга (относительная высота до 1 м), сложенная гравийно-галечно-валунными отложениями, и примыкающее к ней со стороны берега песчано-галечно-гравийное томболо, обязаны своим происхождением разгрузке наносов волно-приливного поля и ледового разноса перед препятствиями – скоплениями валунов и глыб перемытой морены, мысами. С волновой аккумуляцией связано накопление маломощных преимущественно мелкозернистых песков в нижней части осушки, бережное валунного пояса (отливной пляж), и хорошо отмытых песков от грубо- до среднезернистых на уровне среднеквадратного прилива (приливной пляж). Закономерное изменение размеров и крупности отложений приливного пляжа фиксирует направление локальных потоков наносов от СВ выступа береговой линии, образованного палеокоргой с высотами 2-3 м, к западу и югу. В безымянном заливе к В от оз. Кисло-Сладкого, куда волнение практически не проникает, приливная осушка представляет собой валунный бенч; на уровне прилива формируются марши. Такая динамика берега на фоне его поднятия со скоростью 2-3 мм/год (Романенко, Шилова, 2012) привела к образованию современной «луговой» террасы (высота 0.8-2 м), постепенно нарастающей с востока на запад, и замыканию северного палеопролива оз. Кисло-Сладкого. Восточный пролив, развивающийся в условиях волновой тени и отчленяющийся от моря только за счет поднятия берега, пока еще затапливается в сизигийные приливы.

Таким образом, выявлена закономерная последовательность трансформации форм подводного ледникового рельефа в береговой зоне. В ходе поднятия берега в зону волнового воздействия попадают эродированные течениями и перекрытые каменными отмостками останцы форм ледниковой аккумуляции, образующие сочетания холмов, гряд и западин. Устойчивые к размыву положительные формы образуют в БЗ мысы и препятствия, которые

становятся ядрами комплексной аккумуляции наносов, формируют локальные ячейки потоков наносов, способствующих отчленению западин и котловин от моря. При существующих темпах поднятия, амплитудах приливов и волновом режиме, среднее время «прохождения» через БЗ можно оценить в 2-3 тыс. лет, период интенсивной перестройки рельефа под комплексным воздействием волнения, приливов и припая – 1-2 тыс. лет, постепенной потери связи с морем, при отсутствии экстремальных штормов и нагонов, – 150-250 лет.

Авторы признательны коллективу ББС МГУ, а также студентам географического факультета МГУ, участвовавшим в полевых работах и первичной обработке данных.

Работы выполнены на ББС МГУ при поддержке ГЗ по темам № 1.2 (АААА-А16-116032810089-5), № 1.20 (АААА-А16-116032810094-9).

## **Применение сейсмоакустического профилирования для изучения геологического строения верхней части разреза Ладожского озера.**

**Егорова Наталия Владимировна, Рыбалко Александр Евменьевич, Сакулина Тамара Сергеевна, Токарев Михаил Юрьевич, Алешин Михаил Юрьевич**  
*Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский Государственный Университет,  
Санкт-Петербург, Россия*

Ладожское озеро является уникальным природным объектом. Вопрос его образования и истории развития до настоящего времени по многим аспектам остается дискуссионным и требует дальнейшей научной проработки.

В основу настоящей работы легли данные, полученные на акватории Ладожского озера научно-исследовательской экспедицией Института наук о Земле СПбГУ, Центра анализа сейсмических данных МГУ им. М.В. Ломоносова и Института водных проблем Севера КарНЦ РАН в сентябре 2015 года. Задачей экспедиции являлось изучение геологического строения верхней части разреза, отражающего динамику деградации последнего Скандинавского ледникового щита в южной части озера.

### **Общая характеристика**

Котловина Ладожского озера сформировалась на окраине Балтийского щита, который в южной части перекрыт чехлом Восточно-Европейской платформы. В зоне перехода от щита к плите развиты структурные комплексы фундамента архейского и раннепротерозойского возраста и плитного чехла, сложенного толщами терригенных пород верхнего венда – нижнего кембрия. Особенности котловины связаны с распространением раннерифейского и более молодого, предположительно позднерифейско-ранневендского комплексов, слагающих грабен-синклиналь [2, 3, 4, 5].

За четвертичный период территория, занятая в настоящее время Ладогой, многократно подвергалась покровным оледенениям. На значительных площадях озерного дна развит почти сплошной покров поздне-последнеледниковых осадков водно-ледникового и озерного генезиса [1, 4, 7].

В нижней части вскрытых на дне четвертичных осадков находятся ледниковые моренные отложения, которые представляют собой несортированную смесь валунов, глыб, щебня и мелкозема песчано-глинистой размерности [5, 9].

Ледниково-озерные отложения представлены ленточными глинами, которые либо перекрывают морены, либо залегают непосредственно на коренных породах фундамента. Они характеризуются ярко выраженной градиционной слоистостью, обусловленной чередованием песчаных и глинистых слоев [4, 5, 6, 8].

Выше по разрезу наблюдается постепенное утонение слоев ленточных глин и их замещение озерными осадками - серыми гомогенными глинами, которые в свою очередь сменились илами и сапропелями [1, 5, 7].

### **Методика работ**

Сейсмоакустические исследования в настоящее время являются одной из основных технологий получения информации о волновом поле верхней части разреза на акваториях. Геолого-геофизические работы на Ладогое проводились на специализированном научно-



исследовательском судне «Эколог», оборудованном комплексом аппаратуры для возбуждения и приема сейсмоакустических сигналов.

Работы выполнялись по двум модификациям: низкочастотной, с применением электроискрового источника – спаркера, и высокочастотной, с использованием электродинамического источника – бумера. Прием сигналов осуществлялся с помощью маслonaполненных одноканальной и 16-канальной сейсмических кос.

Приемоизлучающая система буксировалась за кормой судна: с одного борта излучатель, с другого – приемные устройства. Выполнялось заглубление всей системы примерно на 0,7 м от поверхности воды.

Проведенные работы по изучению Ладожского озера методом сейсмоакустического профилирования позволили в ряде случаев перейти к детальному расчленению толщ, слагающих его котловину. При интерпретации полученных сейсмоакустических разрезов было выделено несколько основных толщ: голоценовые озерные отложения, верхнеплейстоценовые ледниково-озерные слоистые глины, ледниковые моренные отложения, а также комплексы подстилающих коренных пород рифея и венда. Данные осадки отличаются между собой характером записи и разделены четкими сейсмическими отражающими границами.

Типичный разрез южной части Ладоги представлен на рисунке 1. На данном разрезе отчетливо выделяются все вышеперечисленные толщи осадков. Здесь под маломощным покровом озерных осадков мощностью до 10 м наблюдается сплошной слой ледниково-озерных глин с характерной для них слоистостью (10-15 м). Ниже – моренные гряды мощностью 2-5 м (реже до 8 м), легко опознаваемые по специфической «хаотической» записи и неровной, расчлененной поверхности. Под моренным материалом хорошо видна горизонтальная слоистость вендских пород.

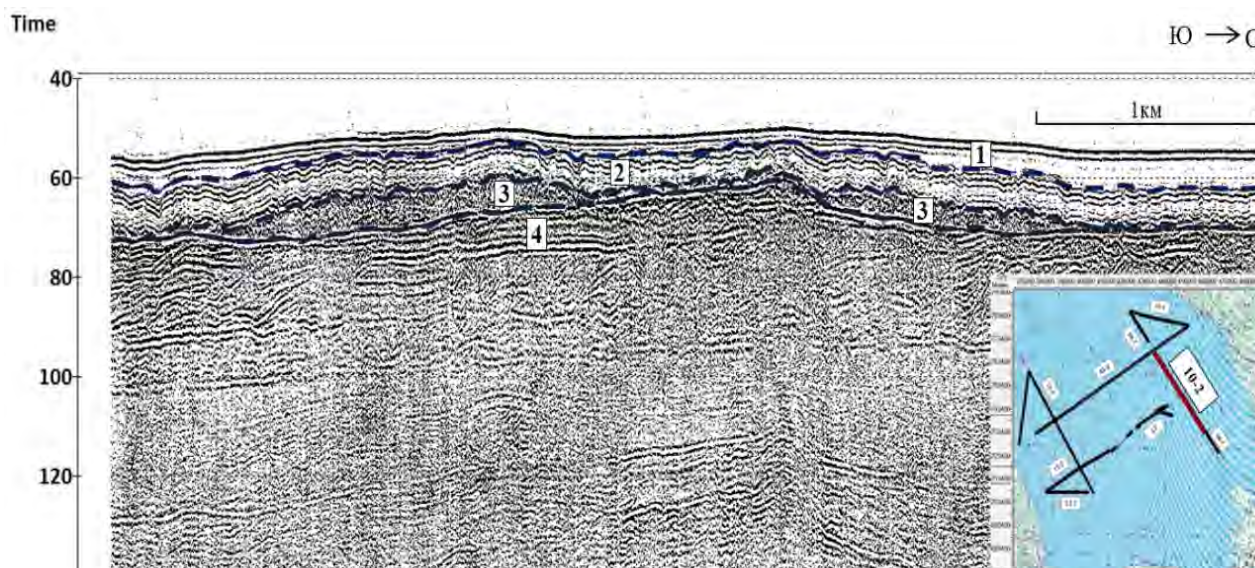


Рис. 1. Сейсмоакустический разрез по фрагменту профиля 10-2.

1 - озерные голоценовые отложения, глины, илы; 2 - ледниково-озерные верхнеплейстоценовые ленточные глины; 3 - ледниковые верхнеплейстоценовые отложения, морена; 4 – вендские слоистые песчано-глинистые отложения

На рисунке 2 приведен пример разреза, где достаточно хорошо просматривается маломощный слой озерных голоценовых осадков, перекрывающих слой ледниково-озерных

глин. В нижней части разреза четвертичных отложений находится толща моренных образований. Наиболее интересен здесь комплекс коренных пород. В правой части разреза видно, что горизонтально-слоистые вендские породы подстилаются наклонными слоистыми отложениями, которые можно отнести к рифею. Если такие предположения верны, то толщи пород рифейского возраста заходят гораздо южнее, чем это предполагалось ранее

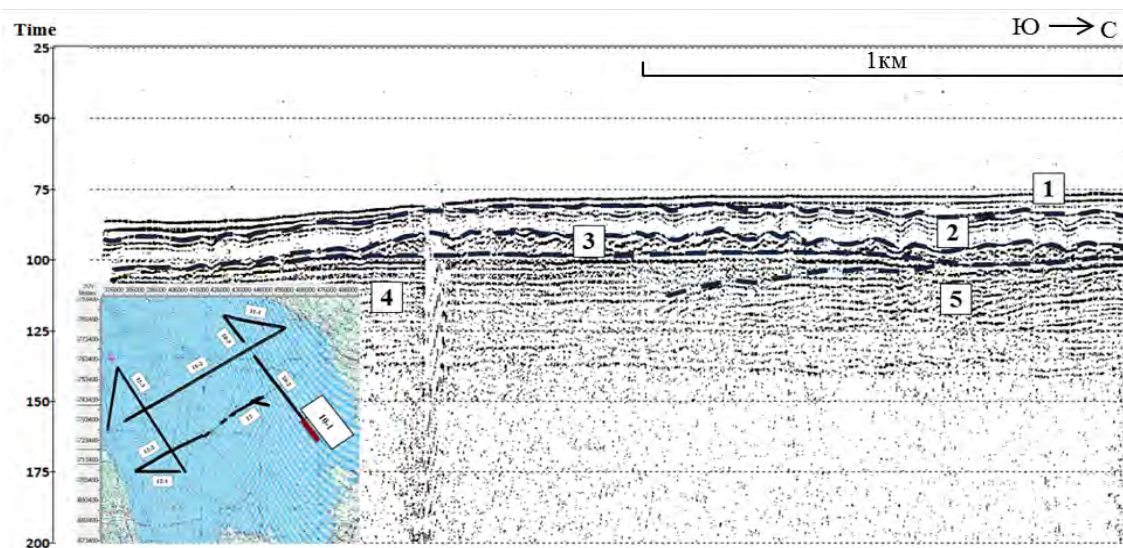


Рис. 2. Сейсмоакустический разрез по участку профиля 10-1.

1 - озерные голоценовые глины, илы; 2 - ледниково-озерные верхнеплейстоценовые ленточные глины; 3 – ледниковые верхнеплейстоценовые отложения, морена; 4 – вендские слоистые песчано-глинистые отложения, 5 – наклонные, слоистые отложения возможно рифейского возраста

### Выводы

В результате проведенных в 2015 г. сейсморазведочных работ на акватории Ладоги методом сейсмоакустического профилирования были получены новые данные, позволившие уточнить геологическое строение верхней части разреза Ладожского озера:

- прослежены реальные границы изучаемых толщ,
- оценены мощности четвертичных осадков;
- отмечен сложный характер формирования горизонта моренных отложений;
- выявлены выходы рифейских пород значительно южнее, чем предполагалось ранее.

Выполненные исследования показали высокое качество, надежность и эффективность. Комбинация одноканальных и многоканальных систем наблюдений, а также источников типа бумер и спаркер позволила исследовать разрез Ладоги на достаточно большую глубину с высокой разрешающей способностью, что еще раз подтверждает преимущества использования данного метода при изучении верхней части разреза на мелководных акваториях.

Автор выражает огромную благодарность профессору кафедры геоморфологии СПбГУ, А.Е. Рыбалко, доценту кафедры геофизики СПбГУ, Т.С. Сакулиной, сотрудникам Центра анализа сейсмических данных МГУ им. М.В. Ломоносова, М.Ю. Токареву и М.Ю. Алешину за участие и консультации в процессе выполнения данной работы.

### Список литературы

1. Абрамова С.А., Давыдова Н.Н., Квасов Д.Д. История Ладожского озера в голоцене по данным спорово-пыльцевого и диатомового анализов// История озер Северо-Запада. – 1967. – С. 113-132.
2. Амантов А.В. Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера// Региональная геология и металлогения. – 2014. – № 58. – С. 22-32.
3. Амантов А.В., Спиридонов М.А. Геология Ладожского озера // Советская геология. – 1989. – № 4. – С. 83-86.
4. Квасов Д.Д., Мартинсон ГГ., Раукас А.В. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки (Серия: История озер СССР). – Л.: Паука. – 1989. – С. 280.
5. Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. Атлас / ред. В.А. Румянцев. — СПб.: Нестор-История. – 2015. – С. 200.
6. Румянцев В.А., Кондратьев С.А. Ладога: монография. – СПб.: Нестор-История. – 2013. – С. 568.
7. Румянцев В.А., Кудерский Л.А. Ладожское озеро: общая характеристика, экологическое состояние// Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). – 2010. – №1. – С. 171-181.
8. Субетто Д.А. Строение, особенности и история формирования донных отложений // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее. – 2002. – С. 122–135.
9. Subetto D., Davydova N., Rybalko A, Contribution to the lithostratigraphy and history of lake Ladoga // palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology. – 1998. – № 140. – С.113-119.

# **СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ**

## **Мониторинг процессов морфолитогенеза приливных осушек Кандалакшского залива Белого моря с использованием БПЛА.**

**Аляутдинов Али Раисович, Репкина Татьяна Юрьевна, Шафоростов Виктор Михайлович, Энтин Андрей Львович, Луговой Николай Николаевич**

*Географический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (ФГБУ), г. Москва*

Стационарные наблюдения за процессами морфолитогенеза береговой зоны (БЗ) проводятся на ББС МГУ с 2009 г. (Репкина, Шевченко, Косевич, 2013). За семь лет дана количественная оценка вклада волновых и неволновых факторов в морфолитогенез надводной части БЗ, получены данные о сезонной и межгодовой изменчивости этих процессов. Оценены величины перемещения наносов в волно-приливном поле и ледового переноса крупных (от мелких валунов до глыб) обломков. Полученные данные позволяют охарактеризовать процессы морфолитогенеза внутренних берегов заливов и проливов фиардово-шхерных побережий. Однако для решения ряда задач, — в частности, определить объемы перемещения наносов галечной размерности, темпы вовлечения продуктов физического выветривания береговых уступов в потоки наносов, объемы биогенного переноса, — необходима фиксация состояний поверхности на уровне микрорельефа.

Цель исследования: разработать методику изучения динамики микрорельефа приливных осушек с использованием беспилотных летательных аппаратов, выявить межгодовую динамику микрорельефа верхней части береговой зоны, уточнить объемы перемещения наносов по поперечному профилю берега.

В июне 2015 и 2016 гг. в ходе практики студентов 2 курса кафедры картографии и геоинформатики ежегодная тахеометрическая съемка участков береговой зоны дополнена фотографированием ее поверхности и привязкой изображений. На каждой из трех площадок стационарных наблюдений фотофиксация выполнена в пределах поперечных берегу полос шириной 1 м (далее — полоса), закрепленных на местности с помощью неподвижных реперов — заглубленных металлических штырей. В 2015 г. фотографирование выполнялось непосредственно на литорали с помощью штатива, а в 2016 г. — с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom II.

В 2015 г. фотографирование производилось с помощью цифрового фотоаппарата Canon IXUS 157 с разрешением матрицы 20 Мпикс и фокусным расстоянием 4 мм. Фотосъемка проводилась с высоты человеческого роста (порядка 1,5 м). Всего на каждую полосу отснято более 50 изображений с перекрытием от 60 % до 80 %. Фотосъемка сопровождалась тахеометрической съемкой полос; в качестве съёмочных пикетов использованы реперы, ограничивающие полосы. Кроме того, непосредственно во время съемки по обеим сторонам полос размещались геодезические рейки, что позволило создать дополнительные опорные точки в процессе дальнейшей обработки.

Обработка снимков 2015 г. проводилась в программном пакете ArcGIS (ArcMap). Для создания ортофотоплана выполнены привязка и трансформация снимков; трансформированные изображения соединены в единую мозаику. Ввиду заметных геометрических искажений привязка и трансформация выполнены по методу «резинового листа» (*rubber sheet*), в качестве контрольных точек использованы пикеты тахеометрической съемки и видимые на снимках отметки на геодезических рейках, плановое положение которых устанавливалось расчётным путём из известного положения полосы профиля.

Дополнительно для взаимной увязки соседних изображений использованы точки, хорошо опознаваемые на камнях. Итоговый фотоплан представляет собой мозаику трансформированных снимков (рис. 1).

В 2016 г. для фотографирования использован БПЛА DJI Phantom 2, оснащённый цифровой фотокамерой с разрешением матрицы 14 Мпикс, фокусным расстоянием 5 мм и углом обзора 90°. Снимки, получаемые с помощью камеры, характеризуются сильным эффектом «рыбьего глаза», что усложняет фотограмметрическую обработку изображений. БПЛА оснащён ГНСС-приёмником, позволяющим определять координаты места съёмки с точностью до целых секунд. Управление летательным аппаратом и установленной на нём камерой осуществляется дистанционно с помощью пульта дистанционного управления и планшетного компьютера под управлением ОС Android с приложением DJI Vision. Пульт позволяет управлять летательным аппаратом, приложение — фотокамерой. Управление частотой съёмки кадров производится вручную с помощью приложения. Трансляция изображения с камеры на экран планшета позволяет в режиме реального времени контролировать перекрытие фотоснимков.

Фотографическая съёмка полос на литорали осуществлена с высоты 10 м в режиме ручного управления БПЛА и фотокамерой. Сделано 48 изображений полосы № 1, 69 изображений полосы № 2 и 49 изображений полосы № 3. Продольное перекрытие снимков контролировалось в процессе съёмки и составляло около 60 %. Как и в 2015 г., фотосъёмка сопровождалась тахеометрической съёмкой, выполненной по той же методике.

Обработка массива фотоснимков с БПЛА производилась с помощью ПО Agisoft PhotoScan, предназначенного для работы с большими массивами данных с беспилотных летательных аппаратов. PhotoScan позволяет автоматически рассчитывать элементы внешнего и внутреннего ориентирования фотоснимков, выполнять их привязку. При этом одновременно используются снимки, их метаданные (информация о камере и геолокация) и «внешние» (по отношению к массиву фотографий) опорные точки. Необходимо, чтобы обрабатываемый массив изображений содержал хотя бы два снимка с отличающимися координатами. В процессе обработки строится трёхмерная модель местности, на основе которой формируется мозаика изображений. Разрешение мозаики лимитируется разрешением исходных снимков. Предельное «техническое» разрешение полученной мозаики составило около 3 мм. Такая детальность избыточна для задач исследования и приводит к сильному возрастанию размера изображения. Поэтому на конечном этапе обработки разрешение фотоплана закруглено до 10 мм.

Сопоставление фотопланов 2015 и 2016 гг. (рис. 1) выполнено визуально с помощью ПО ArcGIS. Первичный анализ снимков позволил оценить изменчивость микрорельефа площадок наблюдения, зафиксировать изменение состава наносов по поперечному профилю берега и индивидуальные смещения обломков галечной и валунной размерности, динамику форм биогенного рельефа. В дальнейшем предполагается усовершенствовать методику для полуавтоматического анализа динамики микрорельефа и наносов береговой зоны, рассчитать объёмы транзита наносов по поперечному профилю берега.

Представленная методика позволяет создавать фотопланы на небольшие по площади участки местности с целью изучения микрорельефа и его динамики. Показано, что снимки, полученные «с земли» и с небольшой высоты сопоставимы по информативности и могут совместно использоваться для выявления изменений на местности. Фотографирование с высоты порядка первых метров (в нашем случае — 10 м) даже при помощи камеры, не



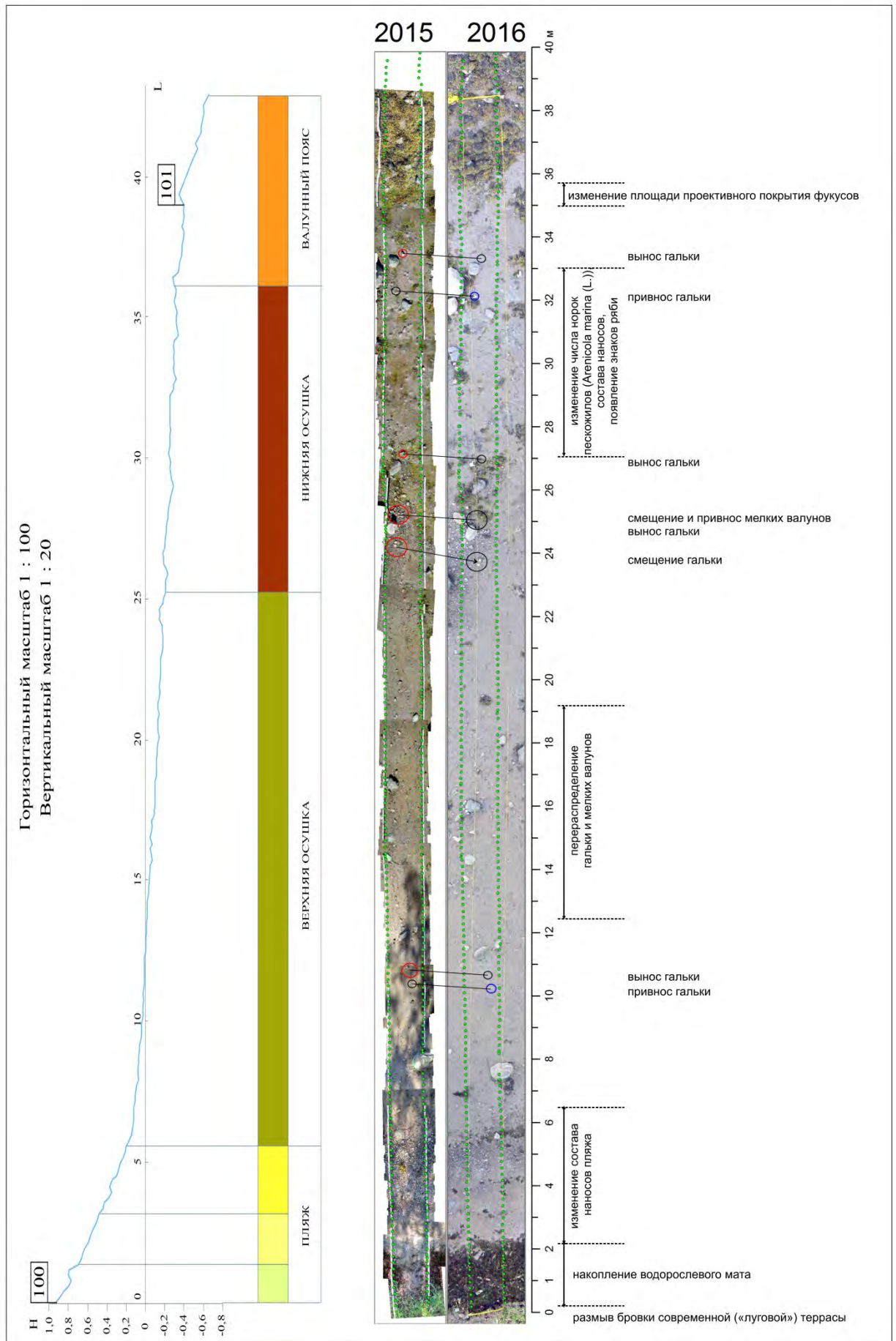


Рис. 1. Тахеометрический профиль (2015 г.) и фотопланы полосы съемки на площадке стационарных наблюдений I (мыс Крестовый).

предназначенной специально для проведения аэрофотосъемки, позволяет получать детальные изображения земной поверхности, подходящие для исследования микрорельефа в береговой зоне. Работы могут быть воспроизведены силами небольшой группы специалистов. Техника, ключевая для проведения работ, не относится к специальным геодезическим приборам и является относительно широкодоступной. «Вспомогательные» работы (определение положений опорных точек для привязки фотоснимков) в данном случае выполнялись дважды, но это не является обязательным: при достаточном количестве хорошо заложенных опорных точек нет необходимости ежегодно определять их положение, что позволяет создавать новые фотопланы без дополнительных геодезических работ. Использование БПЛА позволяет существенно увеличить детальность исследований рельефа береговой зоны, получить принципиально новые сведения о морфо- и литодинамических процессах. В частности, могут быть получены новые качественные и количественные данные о динамике микрорельефа в приливном цикле (съемка в фазы малой и полной воды), темпах вовлечения продуктов физического выветривания в потоки наносов (ежегодная съемка, съемка после сильных штормов). Методика таких исследований разрабатывается в ходе учебных практик студентов кафедр картографии и геоинформатики и геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ.

Авторы признательны коллективу ББС МГУ, а также студентам кафедры картографии и геоинформатики, участвовавшим в полевых работах и первичной обработке данных.

Работы выполнены на ББС МГУ при поддержке ГЗ по темам № 1.2 (АААА-А16-116032810089-5), № 1.20 (АААА-А16-116032810094-9).

#### **Список литературы**

1. Репкина Т.Ю., Шевченко Н.В., Косевич Н.И. Живые камни // Природа. 2013. № 2. С. 113-116.

## Морфоструктуры и активность подводных грязевых вулканов Азовского моря.

Глазырин Евгений Анатольевич

ГНЦ ФГУПП «Южморгеология», г. Геленджик

Подводные грязевые вулканы Азовского моря входят главным образом в Керченско-Таманскую грязевулканическую область, где известны в акватории Керченского пролива и Темрюкского залива. Присутствие грязевых вулканов выявлено также в пределах тектонической структуры Азовский вал (погребенный вулкан Хахалева), признаки грязевого вулканизма описаны в котловине Азовского моря. Среди них выделены активные и потухшие вулканы (рис. 1).

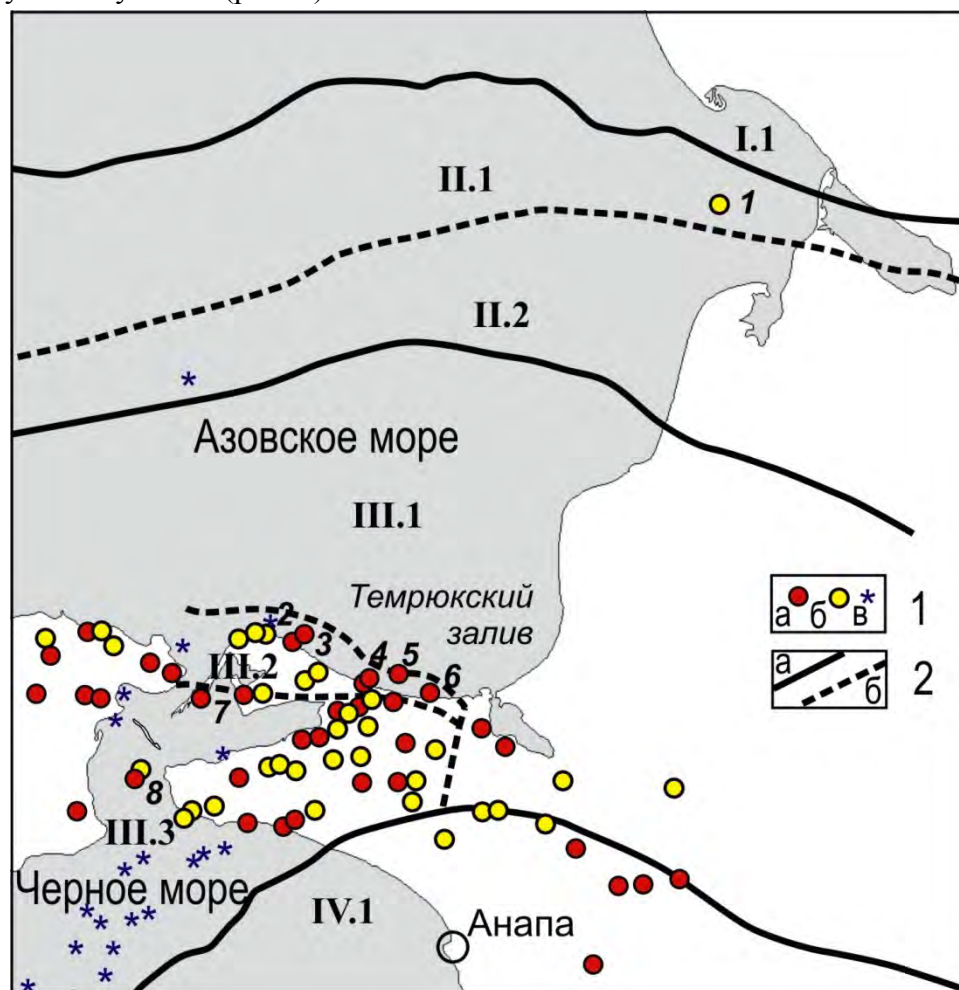


Рис. 1. Распространение грязевых вулканов в Азовском море и прилегающей территории.

Условные обозначения: 1 – грязевые вулканы действующие (а), потухшие (б), предполагаемые по геофизическим и геохимическим данным (в); 2 - границы тектонических структур первого (а) и второго (б) порядка: Восточно-Европейская платформа: I.1 - Северо-Азовский прогиб; Скифская плита: II.1 – Азовский вал, II.2 – Тимашевская ступень; Предкавказские альпийские прогибы и поднятия: III.1 – Западно-Кубанский краевой прогиб, III.2 – Северо-Таманская зона поднятий, III.3 – Керченско-Таманский периклинальный прогиб; Складчато-глыбовое сооружение Большого Кавказа: IV.1 – покровно-складчатая зона Северо-Западного Кавказа.

Подводные грязевые вулканы: 1 – Хахалева, 2 – мыса Каменный морской, 3 – Пекло Азовское морской, 4 – Тиздар, 5 – Темрюкский, 6 – Голубицкий, 7 – Коса Чушка, 8 – Тузла.

В отношении грязевулканической деятельности морская часть по сравнению с сушей изучена явно недостаточно. Многие подводные грязевые вулканы здесь предполагаются по геофизическим и геохимическим данным, высока вероятность открытия новых вулканов.

Грязевые вулканы Керченско-Таманской области приурочены к региональным линейным антиклиналям, где связаны с локальными компрессионными структурами – брахиантиклиналями, реже антиформно деформированными флексурам. Эти структуры дешифрируются как эпицентры разгрузки газо-флюидной энергии мезо-кайнозойского нефтегазоносного разреза в условиях тектонического сжатия.

Грязевые вулканы хорошо выделяются на сейсмоакустических разрезах в виде локальных субвертикальных участков потери сейсмоакустического сигнала за счет флюидизации разреза и нарушения его сплошности. Осадочный разрез под грязевулканическими структурами пронизан звездчатыми и веерными разрывами, осадочными дайками.

По данным сейсмоакустического профилирования (НСП), локации бокового обзора (ЛБО) и эхолотирования выделенные грязевые вулканы в большинстве своем представлены грязевулканическими структурами, где присутствует несколько подводных каналов. В пределах структуры может присутствовать несколько сближенных грязевулканических аппаратов - активных, паразитических и потухших, имеющих единые корни. Подводные грязевулканические структуры в плане имеют субизометричные, реже линейные формы. Размер структур в плане составляет обычно около 500 м, редко достигая 2000 м.

Анализ сейсмоакустических разрезов указывает на синседиментационное и пульсационное формирование грязевулканических структур, сопровождаемое их периодическим ростом и размывом. Амплитуда размыва может достигать 10-15 м. Форма площади размыва от субизометричной у изометричных структур, до линейной для трещинных. Характерно также присутствие оперяющих и сопровождающих веерных и цветковых размывов по валлообразным пластическим деформациям морского дна. Возобновление грязевулканической деятельности сопровождается подновлением старых или (и) образованием новых каналов разгрузки, ростом построек и деформациями вмещающей структуры.

Лютувулканические отложения представлены микститами, где в алевропелитовом матриксе заключено большое количество вынесенных из прорываемого разреза обломков различного размера (до глыб). Проксимальные фации лютувулканических отложений характеризуются отсутствием слоистости, обладают повышенной мощностью и хаотической записью, большим количеством и размерами вынесенных из глубоких частей разреза обломков пород, присутствием более древней компоненты, в частности палеонтологической. В кровле они срезаются слоистыми пачками, накапливающимися в периоды между извержениями. Дистальные фации обладают слоистостью и прогрессивным уменьшением размеров и количества вынесенных обломков, возрастанием седиментационной компоненты.

Грязевулканические структуры сопровождаются холодной флюидно-газовой разгрузкой, в том числе дегазацией углеводородных газов (метановые сипы). С их функционированием связано метаногенное карбонатообразование на поверхности и в толще отложений. Над погребенными вулканами постгрязевулканическая деятельность формирует в осадках штокверковую карбонатную и сульфидную (гидротроилит, марказит) минерализацию, очаговую цементацию песков неравновесной гидрооксид железомарганцевой-сульфидно-карбонатной минерализацией с широким проявлением колломорфных структур.

Газо-флюидная разгрузка в период извержений и в пассивную стадию сопровождается поставкой нефтепродуктов, фенолов, полиароматических углеводов до уровня очень сильного загрязнения. Из сопутствующих тяжелых металлов наиболее «подвижным» является ртуть, при этом донные осадки на участках извержений характеризуются повышенным (2-4 раза относительно фона) содержанием ряда элементов (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, As, В и др.).

Наиболее изученными и активными подводными грязевыми вулканами выступают Темрюкский и Голубицкий, характеризующие редкий линейный (трещинный) и наиболее часто встречающийся субизометричный (центральный) тип, соответственно. Эти вулканы выражены в рельефе морского дна в форме одноименных подводных банок, которые при активных извержениях превращаются в острова.

Темрюкский подводный грязевой вулкан расположен к северо-востоку от станицы Пересыпь, в 4,25 км от берега. По своей морфологии он относится к вулканам линейного (трещинного) типа. Грязевой вулкан Темрюкский последний раз формировал остров в 2007 году, менее интенсивные подводные извержения фиксировались в 2011, 2013 и 2015 годах.

В настоящее время на месте размытого острова по данным эхолотирования и ЛБО расположена основная современная подводная конусная постройка, венчающая северо-восточное окончание линейной структуры. Морфологически линейная структура представлена дугообразно изогнутым валообразным поднятием с осевым грязевулканическим гребнем. Длина валообразного поднятия на отрезке с осевым гребнем составляет 2 км, ширина 900 м, превышение над дном около 4 м. Осевой гребень поднятия имеет ширину до 75-100 м с превышением до 2 м. К северо-востоку (мористее) поднятие тектонически обрывается на изобате 11 м, а к юго-западу (к берегу) постепенно расширяется. На берег Темрюкского залива по простиранию это валообразное поднятие изобатами трассируется на протяжении 8 км на сухопутный грязевой вулкан Синяя Балка, что находится между горой Тиздар и станицей Пересыпь.

Средние углы наклона морского дна на площади структуры не превышают  $1^\circ$ , лишь в гребневой зоне они составляют  $5-8^\circ$ . Основная грязевулканическая постройка имеет округлую конусообразную форму диаметром около 500 м, поднимающуюся с глубины 10 м. Угол склонов постройки составляет  $2-3^\circ$ . В 2014 году вершина постройки находилась на глубине 2,5 м. На линейной структуре вулкана находится цепочка более мелких грязевулканических построек диаметром от первых десятков метров, маркирующих выводящий канал. К востоку от основной конусной постройки расположены две паразитические постройки вытянутой формы шириной 100-120 м при длине до 300 м и превышением 2-3 м. С запада от линейного продолжения основной постройки в рельефе расположена абразионно выровненная округлая потухшая грязевулканическая постройка диаметром до 750 м.

Структура Темрюкского участка в пределах валообразного поднятия соответствует антиформно деформированной флекуре юго-восточного падения. Современная грязевулканическая постройка приурочена к эпицентру максимальной деформации, где структура уже характеризуется как локальная брахиантиклиналь диаметром до 1 км. К северо-востоку флексура через систему нарушений резко переходит в моноклиальное залегание северо-восточного падения. На юго-запад по простиранию валообразного поднятия флексура переходит в тектонически осложненное моноклиальное залегание пород юго-восточного падения.

По данным НСП под грязевулканическими постройками и осевым гребнем располагаются хорошо выраженные локальные субвертикальные участки потери сейсмоакустического сигнала, что свидетельствует об интенсивной флюидно-газовой разгрузке и нарушении сплошности разреза. В геологическом разрезе по данным НСП выделяется несколько интервалов грязевулканической деятельности, прерываемые периодами волновой абразии и накопления морских отложений.

Поверхность морского дна на участке вулкана Темрюкский испытывает непрерывные трансформации. Изменения происходят не только за счет поставки грязевулканического материала, вплоть до образования эфемерных островов, и волновой абразии построек, но и деформации разреза. Об интенсивности трансформации рельефа дна после извержения можно судить по данным эхолотирования за 2014 и 2012 годы. Так, не смотря на то, что грязевулканическая постройка после извержения 2013 года активно размывалась волновой деятельностью в течение года, зафиксированные в 2014 году вертикальные изменения дна на участке достигли 3,5 м. Собственно грязевулканическая постройка выросла более чем на 1,5 м. Учитывая интенсивную волновую абразию постройки за год, ее рост был значительно больше. По периферии структура окаймлена обширными просадками дна амплитудой до 2 м в виде кольцевого кальдерного обрамления диаметром до 2 км.

Подводный грязевой вулкан Голубицкий расположен у станицы Голубицкой в 300 м от берега на глубинах около 3 м. Относится к грязевым вулканам центрального типа и представлен активно абрадируемой волновой деятельностью плоской постройкой овальной формы размером 250×350 м, вытянутой в северо-восточном направлении согласно контролируемой антиклинали. По данным НСП структура представлена брахиантиклиналью, осложненной тектоническими разрывами и каналами газо-флюидной разгрузки. За счет малых глубин грязевулканическая постройка испытывает активную волновую абразию.

Вулкан извергается регулярно, не реже раз в шесть-восемь лет, с образованием острова высотой 2-3 м с несколькими выводящими жерлами. Извержения взрывные, грязевулканический материал выбрасывается на высоту до первых десятков метров за счет большого объема вырывающегося под давлением газа преимущественно метанового состава. Последние извержения произошли в июле 2008, сентябре 2011 и в 2015 году.

Вулкан Голубицкий в 2015 году извергался с перерывами длительное время. О начале его активизации свидетельствовали данные пробоотбора донных отложений от 26 июня. К 28.10.2015 г. был сформирован грязевулканический остров размером 225×150 м и высотой до 3 м. Объем грязевулканической массы, слагающей остров, составил не менее 200 000 м<sup>3</sup>.

По окончании активного периода извержений на прилегающей суше в станице Голубицкая образовались тектонические нарушения амплитудой до 0,3 м. Ширина зияющих трещин достигала 3 см. Трещины проявились даже на песке пляжа и прибрежных дюн. Все находящиеся в полосе тектонических нарушений объекты жилого фонда и благоустройства курортной зоны, коммунальной инфраструктуры станицы Голубицкой подверглись деформациям и повреждениям. Трещины и тектонические нарушения собраны в концентрическую систему кальдерного типа относительно центра извержения с просадкой блоков, обращенных к вулкану. Радиус кальдеры с видимыми деформациями, смещениями и повреждениями составил 625 метров. Диаметр грязевулканической структуры вулкана Голубицкий с активными деформациями составил 1250 метров.

Использованы геологические материалы, полученные в рамках государственных контрактов № 41/01/13-49, 35/01/60-11, 42/01/60-9, 01/20/60-2.



## **Первые данные об уровнях содержания редкоземельных элементов в баритах впадины Дерюгина (Охотское море).**

**Блохин Максим Геннадьевич, Михайлик Павел Евгеньевич, Еловский Евгений Васильевич, Зарубина Наталья Владимировна, Остапенко Дмитрий Сергеевич**  
*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

Работа направлена на установление содержаний и закономерностей распределения редких земель, а также ряда других микроэлементов, которые помогут охарактеризовать условия образования баритовой минерализации впадины Дерюгина, в частности такие физико-химические параметры среды, как температура, окислительно-восстановительный режим, источники поступления элементов.

Материалом для изучения послужили образцы баритов, отобранные в котловине Дерюгина в 54-м (2011 г.) рейсе НИС "Академик М.А. Лаврентьев", в районе Баритовых гор (Охотское море). Баритовая минерализация была обнаружена в этом районе в 1981 году во время 15-го рейса НИС «Калисто». Дальнейшее изучение в последующих рейсах, описание условий драгирования и типов обнаруженной баритовой минерализации подробно приведено в монографии Н.В. Астаховой [2]. В данной работе также разъясняются возможные условия образования баритовых аутигенных минералов. Для этого были изучены газово-жидкие включения в кристаллическом барите, стабильный легкий изотопный состав, химический состав и содержание микроэлементов в баритах и баритсодержащих осадках. К сожалению, примененные на тот момент методы анализа (для микроэлементов - атомная абсорбция) позволили определить лишь ограниченный круг элементов. Он не включал такие важные геохимические индикаторы, как редкоземельные элементы, высокочargedные (Zr, Hf, Nb, Ta) элементы, а также торий, уран, изучение которых помогло бы внести ясность в продолжающуюся и на сегодняшний день дискуссию о генезисе баритов впадины Дерюгина, геологическое строение которой указывает как на возможное их гидротермальное происхождение [1], так и на образование баритов в результате холодных флюидных эманаций [4]. В пользу последней версии говорит и отсутствие достоверно зафиксированных изменений в солености и температуре прилегающих вод, которые должны присутствовать при гидротермальной активности.

В одной из последних работ [3] посвященной проблеме генезиса баритов впадины Дерюгина, был применен комплекс физико-химических методов, позволивший выявить их типоморфные признаки, такие как: содержание изоморфного Sr, радиоактивность, концентрация ион-радикала  $SO_3^-$ , объем и параметры элементарной ячейки. По результатам полученных значений сделан вывод о том, что баритовые образования впадины Дерюгина имеют гидротермальное происхождение, сравнивая их показатели с «континентальными» (находящимися на континенте) баритами известного генезиса. Данный подход все же оставляет место для дальнейших обсуждений и исследований.

Таким образом, для более точного установления природы баритов впадины Дерюгина требуется расширение сведений по их микроэлементному составу (включая РЗЭ) с привлечением современных аналитических подходов.

Наши экспериментальные исследования основываются на применении для элементного анализа баритов методов плазменной спектроскопии: атомно-эмиссионного (ИСП-АЭС) и масс-спектрометрического с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Эти методы очень широко применяются для анализа объектов окружающей среды. ИСП-АЭС метод будет

использован нами для определения в баритах главных элементов, а ИСП-МС - микроэлементов. Определение планируется проводить из растворенного вещества, чтобы получить максимальную представительность и однородность проб. Известно, что бариты, которые на 95% могут состоять из сульфата бария  $BaSO_4$  относятся к очень труднорастворимым объектам с точки зрения подготовки проб к анализу. К основным способам их вскрытия при переводе в раствор можно отнести сплавление и спекание с различными плавнями. Эти методики представлены в ряде работ, относящихся к элементному и изотопному анализу баритов. На настоящий момент имеется достаточно много публикаций посвященных данной тематике, в которых описывается изучение как континентальных, так и морских баритов. Ссылки на такие исследования есть в монографии А.В. Дубинина [5]. Тем не менее, несмотря на большой накопленный опыт, методическое обеспечение подобных исследований оставляет желать лучшего. В большинстве подобных работ определение РЗЭ выполняется при помощи ИСП-МС анализа. Зачастую, другой альтернативы нет. Тот же нейтронно-активационный метод может не дать требуемой правильности и точности, которые так необходимы при изучении распределения РЗЭ и построении нормировочных кривых и не позволит определить весь спектр элементов. При определении РЗЭ ИСП-МС методом, часть элементов, а именно Sm, Gd и, в первую очередь Eu, сильно подвержены влиянию со стороны Ba. В баритах барий может превышать содержание европия в миллионы раз! Результатом этого может быть некорректное определение Sm, Eu и Gd в пробах, искаженные нормировки и неверная интерпретация результатов. Например, в публикации 2015 года [7], посвященной изучению баритов оазиса Бахария (Египет), автор строит по полученным (кстати, в японском университете Тохоку) значениям РЗЭ нормировочные графики, на которых явно видны неправдоподобные аномалии по Sm, Eu и Gd и использует их в своих расчетах!

Предлагаемая нами методика подготовки образцов баритов была основана на разложении 50 мг пробы сплавлением со 150 мг метабората лития. Последующее растворение плава производилось в 5%  $HNO_3$  с введением следов HF для стабилизации раствора (подавления возможного гидролиза и полимеризации соединений высокозарядных ионов металлов). Затем раствор оставлялся на 48 часов до наступления динамического равновесия и частичного выпадения в осадок  $BaSO_4$ . Вероятность сорбции редкоземельных элементов при этом была учтена по методу «введено-найдено». Наличие такого процесса зафиксировано не было. Конечный объем пробы фиксировался в мерной колбе на 50 мл 2%  $HNO_3$ . Таким образом, фактор разбавления составлял 1000.

Непосредственный анализ проб был выполнен на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7700x (Agilent Technologies, Япония). Система ввода образцов ИСП-МС прибора была представлена микроконцентрическим распылителем *MicroMist* (200 мкл/с), Пельтье-охлаждаемой кварцевой распылительной камерой Скотта и заземленной горелкой Фассела. Использовались никелевые конуса сэмплера и скиммера. Настройка прибора проводилась по специальному раствору, содержащему 1 мкг/л Li, Mg, Co, Y, Ce и Tl (Agilent Technologies, США) таким образом, чтобы достичь максимальной чувствительности при минимальном значении уровня образования ионов оксидов и двузарядных ионов. Настройка напряжения на ионной оптике позволяла достичь низкой величины дрейфа аналитического сигнала во времени. Корректировка наложений на массах редкоземельных элементов была проведена за счет

использования столкновительной ячейки прибора, наполняемой гелием, а также математически, по аналогии работы [6].

В результате проведенных исследований впервые были установлены уровни содержания редкоземельных элементов в баритах впадины Дерюгина (Охотское море). Найденные величины составили от  $n \cdot 10^{-1}$  г/т для легких РЗЭ, до  $n \cdot 10^{-3}$  г/т для средних и тяжелых, а также единицы г/т для Y.

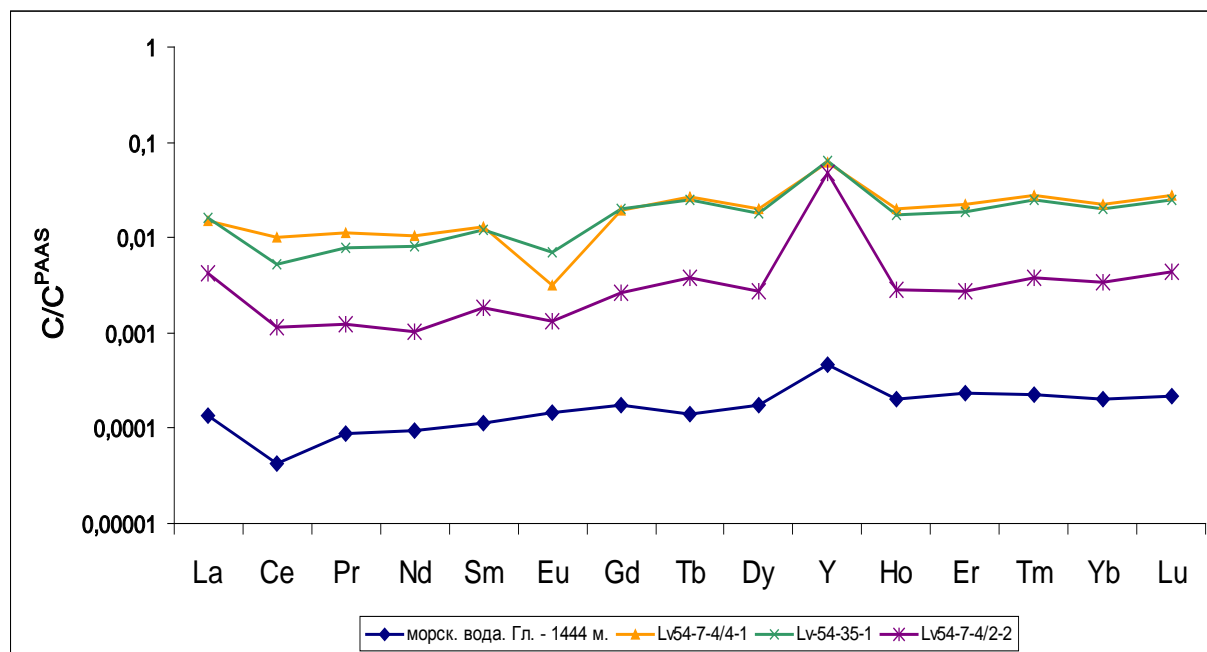


Рис. 1. Распределение сланец (PAAS по (McLennan, 1989)) нормализованных РЗЭ и Y в баритах и придонной (глубина 1444 м) морской воды (наши не опубликованные данные) котловины Дерюгина (Охотское море).

На рисунке 1 представлено распределение сланец (PAAS) нормализованных редкоземельных элементов и Y (REY), который рассматривается как геохимический двойник гольмия (согласно близости величин их ионных радиусов ( $\text{Ho}^{3+}$  - 0,901Å;  $\text{Y}^{3+}$  - 0,900Å) и электроотрицательности ( $\text{Ho}^{3+}$  - 1,10;  $\text{Y}^{3+}$  - 1,11) (Bau, Dulski, 1995)) баритов и придонной (глубина 1444 м) морской воды котловины Дерюгина (Охотское море). Отношение легких REY к тяжелым выражается отношением  $\text{La}_{\text{CH}}/\text{Lu}_{\text{CH}}$  (сн – нормализованные по сланцу), повышение которого может показывать вклад гидротермального вещества в процессе роста баритов. Отношение  $\text{La}_{\text{CH}}/\text{Lu}_{\text{CH}}$  в баритах меняется в пределах 0,54 - 0,96 и близко для морской воды котловины Дерюгина 0,63. Повышение содержания тяжелых REY в баритах возникает в результате влияния их растворенных форм в морской воде. Повышение содержания тяжелых лантаноидов в гидротермальных баритах не выявлено (Дубинин, 2006). Величина цериевой аномалии ( $\text{Ce}^*$ ) в баритах, рассчитанная как  $\text{Ce}/\text{Ce}_{\text{paas}}/((0,5 \cdot \text{La}/\text{La}_{\text{paas}}) + (0,5 \cdot \text{Pr}/\text{Pr}_{\text{paas}}))$ , меньше единицы, наследуется из морской воды (рисунок). Обеднённость церием охотоморских баритовых построек указывает на быструю скорость роста этих образований. В результате церий не успевает накапливаться в веществе баритов, как это происходит в процессе формирования медленно растущих гидротермальных железомарганцевых образований океана, которые характеризуются наличием положительной ( $>1$ ) цериевой аномалией. Величина европиевой аномалии ( $\text{Eu}^* =$

$Eu/Eu_{paas}/((0,5*Sm/Sm_{paas})+(0,5*Gd/Gd_{paas}))$  изменяется от 0,20 до 0,59. Это свидетельствует об отсутствии вклада гидротермального вещества при формировании баритов, так как подавляющее большинство морских образований сформированных в результате гидротермальной деятельности характеризуются величиной  $Eu^* > 1$ .

Таким образом, полученные данные по распределению REY в баритах котловины Дерюгина убедительно свидетельствуют об отсутствии влияния гидротермальной компоненты при их формировании, а источником редких земель служит морская вода. С другой стороны низкие концентрации REY и наличие отрицательной европиевой аномалии могут указывать на инертность сульфата бария к их концентрированию либо такой состав REY отвечает составу REY холодных сипов. В условиях приконтинентального литогенеза в осадочной толще с высоким содержанием органического вещества и недонасыщенностью придонных вод кислородом (характерные условия для котловины Дерюгина) происходит восстановление европия до двухвалентного состояния, в котором он наиболее подвижен. В результате в осадки котловины Дерюгина имеет место диагенетическая поставка этого элемента, который сорбируется железомарганцевыми оксигидроксидами. Это отражено в наличии положительной европиевой аномалии в аутигенных железомарганцевых оксигидроксидах осадков котловины Дерюгина (наши данные). Для выяснения этого вопроса требуются более детальные дальнейшие исследования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00194 мол\_а.

#### **Список литературы**

1. Астахов А.С., Астахова Н.В., Саттарова В.В., Свининников А.И., Грецакая Е.В., Ващенко Н.Г., Иванов М.В. *Осадконакопление и рудогенез во впадине Дерюгина (Охотское море)*. Владивосток: Дальнаука, 2008. 289 с.
2. Астахова Н.В. Аутигенные образования в позднекайнозойских отложениях окраинных морей Востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2007. 242 с.
3. Ахманов Г.Г., Егорова И.П., Михайлик П.Е., Гревцев В.А., Наумкина М.И., Семенова Г.М. К генезису травертиноподобных баритов впадины Дерюгина (Охотское море) // Отечественная геология, 2015. № 1. С. 82-88.
4. Деркачев А.Н., Обжиров А.И., Борман Г., Грайнерт Й., Зюсс Э. Аутигенное минералообразование на участках проявления холодных газово-флюидных эманаций на дне Охотского моря // Условия формирования донных осадков и связанных с ними с ними полезных ископаемых. Владивосток: Дальнаука, 2002. С. 47-60.
5. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 359 с.
6. Еловский Е.В. Математическое устранение спектральных помех при прямом определении редкоземельных элементов в природных водах методом квадрупольной масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Масс-спектрометрия, 2015. Т. 12, № 2. С. 107-116.
7. Baioumy H.M. Rare earth elements, S and Sr isotopes and origin of barite from Bahariya Oasis, Egypt: Implication for the origin of host iron ores // Journal of African Earth Sciences, 2015. V. 106. P. 99-107.

8. McLennan S. M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes / *Geochemistry and Mineralogy of the Rare Earth Elements* (Lipin, B. R. and McKay, G. A., eds.) // 1989. *Rev. Mineral.* 21, 169–200.

**Первые результаты геолого-геофизических исследований Class@Baikal в районе грязевого вулкана Большой (озеро Байкал).**

**Балакин И.С.<sup>1</sup>, Ахманов Г.Г.<sup>1</sup>, Корост С.Р.<sup>1</sup>, Хлыстов О.М.<sup>2</sup>**

*1-МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва*

*2-Лимнологический институт СО РАН, Иркутск*

В период с 9 по 22 июля 2016 года в акватории озера Байкал состоялась Третья Международная научно-образовательная экспедиция Class@Baikal. Рейс был организован на научно-исследовательском судне «Г.Ю.Верещагин». Во время экспедиции производился донный пробоотбор с дальнейшим описанием полученных осадков. Параллельно производился геохимический анализ поровых вод и газовых гидратов, а также были произведены геотехнические измерения.

Одним из районов изучения был район грязевого вулкана Большой, где в 2016 году Class@Baikal продолжил свои исследования, начатые во Второй экспедиции летом 2015 года. В 2015 году была выполнена плотная сетка профилей набортного профилографа. На основании геофизических данных был выполнен значительный объем донного геологического опробования с целью охарактеризовать особенности грязевулканического осадконакопления и режима флюидоразгрузки в пределах современной постройки вулкана.

В 2016 году дополнительно выполнено 12 станций пробоотбора: TTR-BL16-185G – TTR-BL16-196G. В отличие от 2015 года, большинство станций расположено на удалении от кратера грязевого вулкана. Это обусловлено необходимостью выполнить генетический анализ и обосновать корреляцию прослоев отложений разных генетических типов (грязевулканические потоки, оползневые накопления, турбидиты и пр.), отобранных с разных частей изучаемой структуры. Такая корреляция должна помочь пониманию истории развития грязевого вулкана и повлиявших на это геологических процессов. Особый интерес вызывают турбидитовые прослои. Они наблюдаются практически во всех колонках, отобранных в пределах грязевого вулкана, и во всех станциях, отобранных в 2016 году. Наличие таких прослоев обычно нехарактерно для отложений, вскрываемых трубками на грязевых вулканах.

Турбидиты, согласно первичному описанию состояли из двух частей: верхней и нижней. Нижняя часть представлена песками мелкозернистыми, их мощность изменяется от 0,5 до 20 см (в разрезе станции TTR-BL16-194G). Верхняя часть турбидита состоит из алевритов, мощностью от 2 до 5 см, которые градиционно переходят в глинистый ил мощностью от 0,5 до 1,5 см. Дальнейшие исследования отобранного материала в лабораторных условиях, в том числе с помощью рентгеновской компьютерной микротомографии и определения гранулометрического состава помогут установить детальное строение турбидитов. Терригенный материал, который формирует турбидитовые прослои, вероятно, поступает с бортов котловины озера. Также наблюдается одна интересная особенность: в разрезах, вскрытых на станциях TTR-BL16-186G – TTR-BL16-189G, TTR-BL16-193G – TTR-BL16-195G и TTR-BL16-198G, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, на глубине 30-40 см выделяется совершенно нетипичный для этой части разреза прослой глинистого ила толщиной 3-7 см.

В результате экспедиции Class@Baikal-2016 получен объемный материал для исследований. Лабораторные исследования помогают в выяснении источников поступления



терригенного материала и особенностей его распределения в разных частях изучаемого района.

**Благородные металлы в железомарганцевых конкрециях атлантического океана.**  
**Бережная Евгения Дмитриевна, Дубинин Александр Владимирович, Семилова**  
**Любовь Сергеевна**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

Железомарганцевые корки и конкреции обладают высоким ресурсным потенциалом в качестве сырья для получения редких металлов. Помимо марганца, кобальта и никеля, корки и конкреции накапливают благородные металлы. Например, содержание платины в железомарганцевых образованиях составляет 1-3 мкг/г, что в 1000 раз больше, чем содержание платины в верхней части земной коры. Элементы группы платины (ЭПГ) заметно фракционируют в океане. В ходе процессов выветривания и речного стока ряд распространенности меняется с  $Pd \approx Pt > Ru > Rh > Ir$  в континентальной коре на  $Pd > Pt > Rh > Ru > Ir$  в морской воде. В железомарганцевых образованиях накопление ЭПГ можно представить в виде ряда  $Pt > Ru > Rh > Ir > Pd$  (Ravizza, 2001, Hein et al., 2005). Причины такого избирательного накопления отдельных платиноидов не известны.

Целью настоящей работы было изучение распределения элементов группы платины в железомарганцевых конкрециях для определения степени накопления ЭПГ, их источников вещества и механизмах фракционирования в процессах накопления на оксигидроксидных отложениях в океане. Материалом послужили железомарганцевые конкреции, отобранные в Капской котловине в 29 рейсе НИС Академик Иоффе. Для анализа были выбраны различные по размеру конкреции, для крупных конкреций применялся послойный пробоотбор. Список образцов, их описание и содержание некоторых элементов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Состав Fe-Mn конкреций станции 2188, 2194 и 2195 (Капская котловина).

Образец	Описание	Mn/Fe	Fe, %	Mn, %	Co, мкг/г
2188-S	Округлая конкреция, диаметр 14 мм	1.6	10.5	16.6	1296
2188-M/G	Округлая конкреция диаметром 37-41 мм, внутренний слой серого цвета	1.1	13.0	14.2	1573
2188-M/B	То же, внешний слой черного цвета	1.2	14.4	16.9	1556
2194-1	глинистое ядро	0.1	10.6	1.0	97
2194-2	внутренний слой	1.3	9.7	12.9	1266
2194-5	поверхностный слой	2.3	8.6	20.1	948
2194-7	нижняя поверхность	1.4	11.8	17.0	1046
2195-NU	глинистое ядро	0.3	8.0	2.4	332
2195-D	поверхностный слой	6.3	3.1	19.5	347
2195-SU	внутренний слой	2.0	10.5	20.8	1514

Конкреция 2188-S диаметром 14 мм была представлена валовой пробой. В конкреции 2188-M диаметром 37-41 мм были выделены 2 слоя – поверхностный черный (2188-M/B) толщиной 2-3 мм и серый внутренний (2188-M/G). Конкреция 2194 имела размеры 55×58×44 мм, от центральной части конкреции (2194-1) к верхней поверхности были отобраны 2 пробы (2194-2 и 2194-5), образец 2194-7 представлял нижнюю поверхность этой конкреции.

Конкреция станции 2195 была найдена захороненной в поверхностном осадке. Для настоящего исследования в ней было отобрано глинистое ядро (2195-NU), верхний слой (1-2 мм) и поверхностный слой (соответственно 2195-D и 2195-SU). Все конкреции можно отнести к гидрогенному типу, так как Mn/Fe отношение не превышает 2.5, кроме образца, представляющего поверхностный слой захороненной конкреции.

Наиболее высокие содержания платины наблюдаются в поверхностных слоях конкреций (99-135 нг/г), а низкие - в глиняном ядре (15 нг/г) и в верхнем слое захороненной конкреции (23 нг/г). Содержания иридия составили 0.3-3.2 нг/г, палладия - 1.2-7.7 нг/г. Зависимость концентраций иридия и палладия от концентраций платины представлена на рис. 1. Высокий коэффициент корреляции между содержаниями платины и иридия указывает на их одинаковый механизм накопления. В то же время, содержания палладия не коррелирует с платиной.

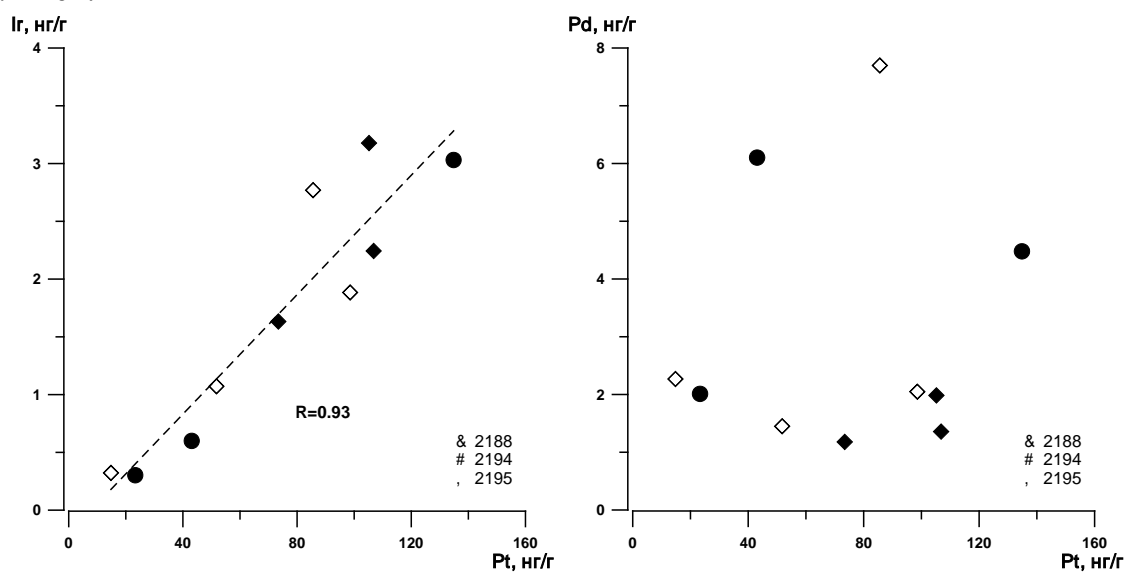


Рис. 1. Зависимость содержаний Ir и Pd от Pt в образцах железомарганцевых конкреций.

Ранее в железомарганцевых конкрециях были найдены значимые связи между Pt и Ni и Mn/Fe отношением (Halbach et al., 1984), с медью (Terashima et al., 1988), с кобальтом и церием (Vanakar et al., 2007), с кобальтом (Stueben et al., 1999), с барием (Wen et al., 1997), и с кобальтом, никелем, марганцем and теллуrom (Hein et al., 2005). В данной работе наиболее высокие коэффициенты корреляции наблюдались нами между платиной и кобальтом и между платиной и церием (рис. 2).

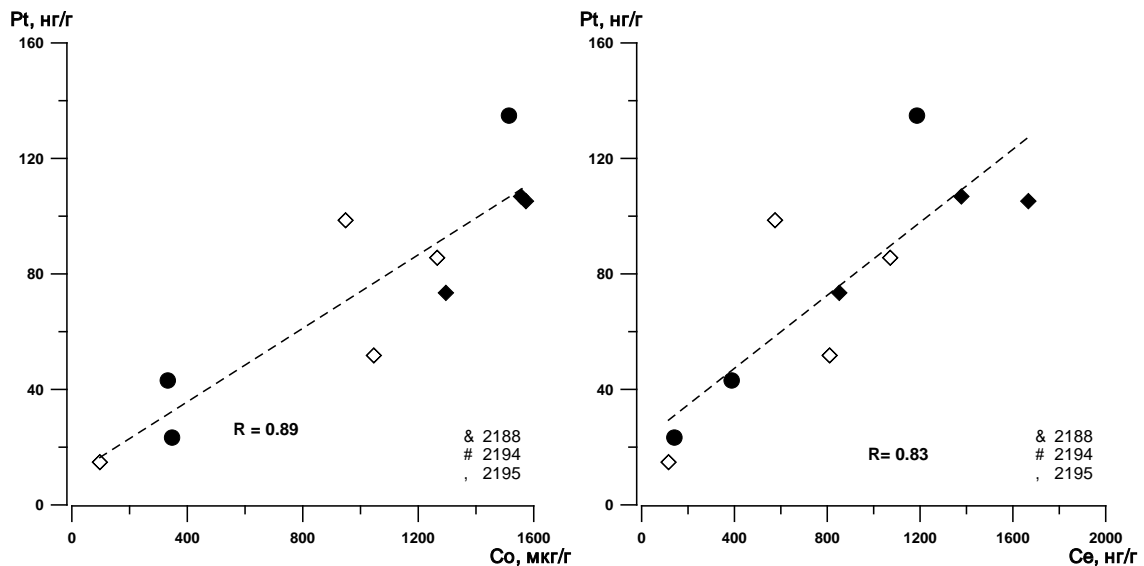


Рис. 2. Зависимость содержаний Pt от Се и Со в образцах железомарганцевых конкреций.

По-видимому, платина и иридий, как и кобальт, накапливаются в гидрогенной компоненте осадка. В таком случае, наиболее предпочтительным механизмом накопления Pt и Ir в ЖМК является окислительная сорбция. В этом процессе накопление платины и иридия на оксигидроксидах железа и марганца происходит за счет сорбции и последующего окисления платины с +2 до +4, а иридия с +3 до +4 (Hein et al., 2005, Banakar et al., 2007). Корреляционный анализ не показал значимых связей Pd с элементами из состава конкреций. Вопрос о механизме его поступления в железомарганцевые образования требует дополнительных исследований.

### Список литературы

- Banakar V. K.; Hein J. R.; Rajani R. P.; Chodankar A. R. (2007) Platinum group elements and gold in ferromanganese crusts from Afanasiy-Nikitin seamount, equatorial Indian Ocean: Sources and fractionation. *Journal of Earth System Science* 116, 3–13.
- Halbach, P., Kriete, C., Prause B., Puteanus D. (1989) Mechanisms to explain the platinum concentration in ferromanganese seamount crusts. *Chemical Geology* 76, 95-106.
- Hein J.R., McIntyre B. and Koschinsky A. (2005) The global enrichment of platinum group elements in marine ferromanganese crusts. In *Extended abstracts* 10, 98-101.
- Ravizza G.E. (2001) Platinum group elements and their isotopes in ocean. In *Marine chemistry and geochemistry* (Eds. K. K. Turekian K.K.), 29-39.
- Stueben D., Glasby G., Eckhardt J.-D., Berner Z, Mountain B., and Usui A. (1999) Enrichments of platinum-group elements in hydrogenous, diagenetic and hydrothermal marine manganese and iron deposits. *Exploration and Mining Geology* 8, 233-250.
- Terashima, S., Usui, A., Nakao, S., & Mita, N. (1988). Platinum abundance in ocean floor ferromanganese crusts and nodules. *Mar. Min.*, 7(3), 209-218.
- Wen, X., De Carlo, E. H., & Li, Y. H. (1997). Interelement relationships in ferromanganese crusts from the central Pacific ocean: Their implications for crust genesis. *Marine Geology*, 136(3), 277-297.

**Предварительные результаты газогеохимических исследований экспедиции «Class@Baikal-2016».**

**Кислицына Екатерина Валерьевна<sup>1</sup>, Карамова Гульназ Флусовна<sup>1</sup>, Видищева Олеся Николаевна<sup>1</sup>, Сливко Елена Викторовна<sup>1</sup>, Сливко Ирина Энверовна<sup>1</sup>, Ахманов Григорий Георгиевич<sup>1</sup>, Хлыстов Олег Михайлович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> - МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет,

<sup>2</sup> - Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

В июле 2016 года на акватории озера Байкал состоялась Третья научно-исследовательская экспедиция проекта Class@Baikal в рамках программы ЮНЕСКО-МГУ «Training-through-Research». В ходе экспедиции на борту научно-исследовательского судна «Т.Ю. Верещагин» проводилась газо-геохимическая съемка по донным осадкам [2]. Молекулярный состав образцов отобранных газов был изучен с помощью газового хроматографа TRACE GC ULTRA. Анализ изотопного состава углерода метана и его гомологов был выполнен на комплексе оборудования Delta V Advantage.

В результате экспедиции 2016 года было отобрано 464 пробы газа на 51 станции донного пробоотбора в пределах следующих районов:

(1) В районе «Красный Яр» была детально изучена область активных газовых сипов: было отобрано 167 проб газа, две из которых - газ газовых гидратов жильной формы выделения. Преимущественно углеводородные (УВ) газы представлены метаном, содержание которого в отдельных пробах достигает 39632,81 мкл/л. Изотопный состав варьирует от -65,3 ‰ до -62,74 ‰, что свидетельствует о биогенном происхождении газа. [1] Только газы гидратоносного интервала разреза, опробованного на станции TTR-BL16-169G, были представлены не только метаном, но и характеризовались существенными концентрациями этана и пропана. Изотопный состав углерода метана в этом образце тяжелее и достигает -57 ‰. Это говорит о возможном смешанном происхождении газа, участвовавшего в гидратоформировании [1].

(2) В пределах грязевого вулкана «Большой» газо-геохимические исследования выполнялись на 14 станциях пробоотбора: было отобрано 90 образцов газа. Газ состоит преимущественно из метана, содержание которого достигает 30313,94 мкл/л. Изотопный состав углерода метана варьирует от -70,2‰ до -61,3‰. В некоторых образцах присутствует этан в количестве от 3,82 мкл/л до 306,97 мкл/л. Наличие C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> в исследуемых образцах и данные изотопного анализа (-45,41‰ – -36,4‰) говорят в пользу термогенного происхождения газа [1].

(3) В пределах глубоководно-осадочной системы Хурай было отобрано 56 образцов газа из 11 станций донного пробоотбора. УВ газы представлены только метаном с концентрациями до 16440,57 мкл/л. Результаты изотопного анализа показали значения от -65,9‰ до -64,0‰. Такие значения говорят о преобладании легкого изотопа метана и соответственно бактериальном происхождении газа [1].

(4) В 2016 году проект Class@Baikal приступил к изучению нового для себя района работ в южной котловине Байкала, где основной целью было изучение условий осадконакопления всего района и теплового потока на гидратоносных структурах, открытых ранее в совместных экспедициях Лимнологического института СО РАН и Университета Китами (Япония) в 2015 г. В этом районе параллельно с измерением температур на 18 станциях донного пробоотбора было отобрано 130 образцов газа. Концентрации метана

колебалась в образцах от 0,93 мкл/л до 31699,03 мкл/л. В некоторых образцах присутствуют более тяжелые его гомологи. Содержание этана в них колеблется в пределах от 0,11 мкл/л до 279,11 мкл/л. В единичных случаях обнаруживается также пропан и бутан. Согласно результатам изотопного анализа, можно предположить, что газ, в большинстве случаев, характеризуется биогенным и смешанным происхождением, так как значения  $\delta^{13}\text{C}$  находятся в пределах -77,3 ‰ – -45,4 ‰. В образцах с содержанием более тяжелых гомологов (пропана и бутана) отмечается и другой изотопный состав. Для таких образцов  $\delta^{13}\text{C}$  составляет -43,5 ‰ – -38,5 ‰. Такие значения характерны для газов термогенного происхождения [1].

(5) Также в южной котловине Байкала опробовано 7 станций в прибрежно-мелководной зоне. Разрез, вскрытый в большинстве станций, существенно песчаный. Из относительно более глинистых интервалов отобран 21 образец газа. В результате анализа на газовом хроматографе, было выяснено, что газ состоит полностью из метана, с концентрацией до 10535,95 мкл/л. Легкий изотопный состав углерода метана (- 75,4‰ – - 70,1‰) указывает на микробиальное происхождение газа [1].

Большая часть отобранных образцов характеризуется газами смешанного происхождения. Преобладающим компонентом углеводородных газов осадков является метан, в подчиненном количестве встречается этан. Такая картина довольно типична для большей части озера. Однако районы, где отобранные пробы газа содержали пропан и бутан, несомненно, интересны для дальнейших исследований. Согласно результатам изотопного исследования, газ таких образцов имеет термогенное происхождение. Выходы таких газов маркируют зоны фокусированной миграция флюидов к поверхности и, возможно, связаны с глубоко погруженными резервуарами УВ.

### **Список литературы**

1. Калмычков Г.В., Егоров А.В., академик Кузьмин М.И., Хлыстов О.М. Генетические типы метана озера Байкал/Доклады академии наук, 2006, том 411, №5. С.672-675.
2. Петухов А.В., Старобинец И.С. (ред). Основы теории геохимических полей углеводородных скоплений. М.: Недр, 1993. – 332 с.



**Грязевой вулкан «Новосибирск» (оз. Байкал): геолого-геофизические характеристики и особенности строения.**

**Хабуев Андрей Владимирович<sup>1</sup>, Соловьева Марина Андреевна<sup>2</sup>, Хлыстов Олег Михайлович<sup>1</sup>, Белоусов Олег Викторович<sup>1</sup>, Ченский Александр Геннадьевич<sup>3</sup>, Ахманов Григорий Георгиевич<sup>2</sup>, Хироцугу Минами<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> – *Лимнологический институт СО РАН, Иркутск.*

<sup>2</sup> – *Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

<sup>3</sup> – *Иркутский Национальный Исследовательский Технический университет, Иркутск*

<sup>4</sup> – *Технологический университет Китами, Япония*

Озеро Байкал является единственным пресноводным озером на Земле, где найдены приповерхностные газовые гидраты [Клеркс Я. и др., 2003]. Благодаря комплексным геофизическим и геологическим исследованиям, обнаружено несколько десятков подводных структур, в которых были найдены газовые гидраты. Самым распространенным типом являются грязевые вулканы, составляющие половину гидратосодержащих структур озера [Khlystov O. et al., 2013].

Грязевой вулкан «Новосибирск» находится в центральной части средней котловины озера Байкал на глубинах 1390-1410 м, открыт в результате съемки дна локатором бокового обзора в 2002 г. в рамках проекта Интас «Multidisciplinary study of gas seeps in Lake Baikal (MULTISGAS)». На батиметрической карте он выражен в виде положительной формы рельефа вблизи крупного сброса. По сейсмическим данным он расположен на приподнятом крыле тектонического разлома и характеризуется поднятием с низкочастотным отраженным от дна сигналом и акустически прозрачным каналом, идущим из глубины [Cuylaerts M. et al., 2012]. На профиле в обе стороны от канала на глубине 350-370 м под дном наблюдается предполагаемая граница BSR, выделенная по изменению полярности сейсмического импульса. Данные профилографа также позволяют увидеть акустически прозрачную волновую картину структуры, кроме того, хорошо видны отличия между осадками поднятого и опущенного крыльев разлома. Поднятое северо-западное крыло сложено слоистыми осадками, что говорит о спокойном гемипелагическом осадконакоплении. Опущенное юго-восточное крыло характеризуется более плотным и акустически жестким осадком.

В ходе многочисленных геологических опробований гравитационными трубками были получены керны донных осадков длиной до 5 метров. Из 46 кернов, отобранных как в самой структуре, так и около нее, 26 содержали грязевулканическую брекчию, в том числе в семи наблюдались газовые гидраты (рис.1). Это позволило отнести данную структуру к грязевым вулканам. Грязевулканическая брекчия распространена повсеместно внутри грязевого вулкана. Газовые гидраты же встречаются главным образом в пониженной части центра структуры, за исключением одного керна, взятого на склоне. Это может свидетельствовать о нескольких каналах разгрузки газа, в отличие от грязевулканического единственного канала в центральной части. Обнаружить современные или недавно погребенные грязевулканические потоки на поднятом крыле сброса не удалось ни по геофизическим, ни по геологическим данным. Газовые гидраты представлены в основном прослоями и линзами и распространены внутри глинистой части разреза, которая перекрыта современным диатомовым слоем. Это значит, что вулкан в настоящее время не активен и может быть рассмотрен как погребенный вариант грязевулканических построек Байкала. Однако его

расположение на тектоническом разломе позволяет ожидать находок новых мест с газовыми гидратами и продолжить поиск грязевулканического потока на опущенном крыле сброса.

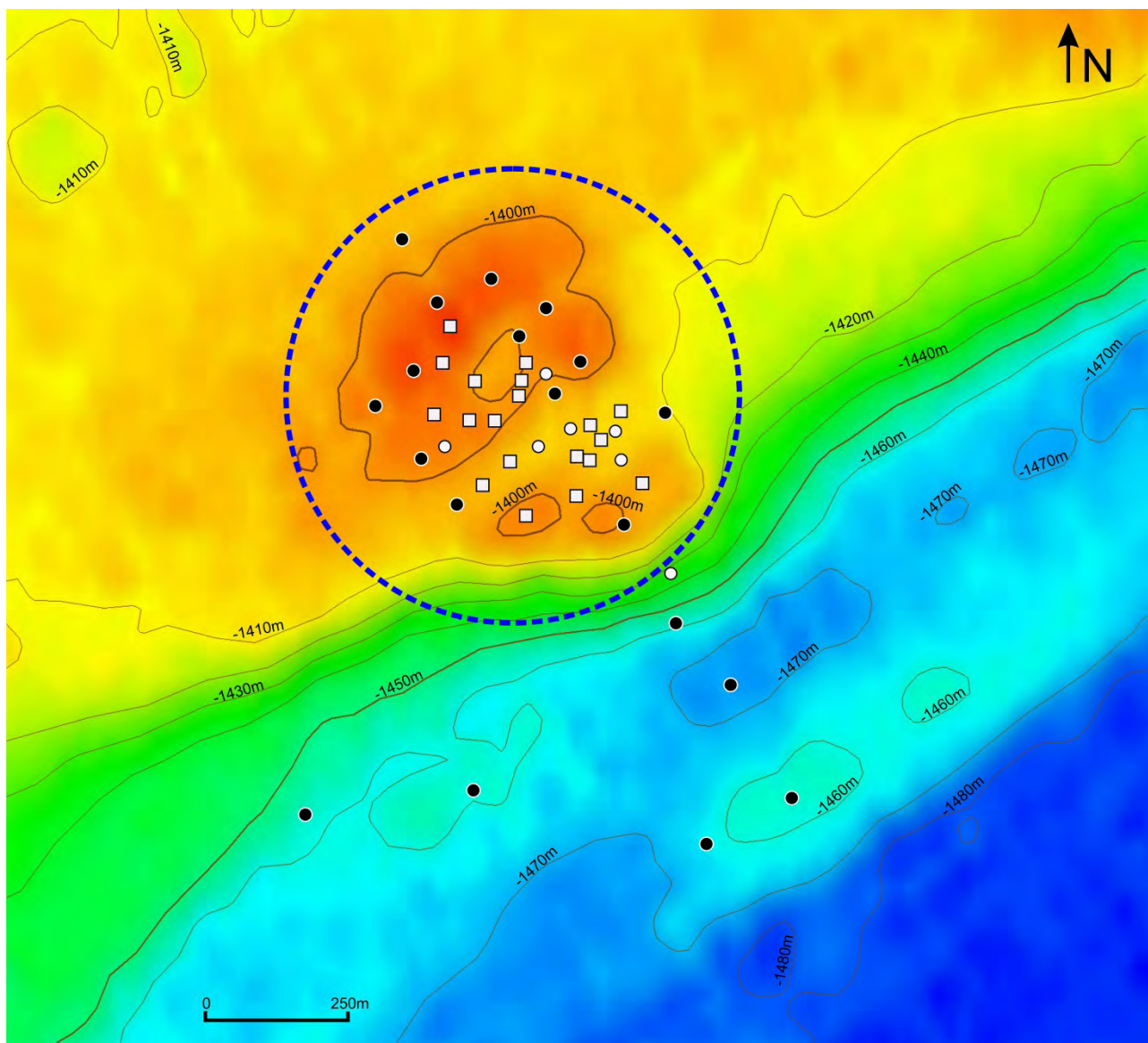


Рис.1. Грязевой вулкан «Новосибирск».

(черными точками показаны керны с нормальным осадком, белыми – с газовыми гидратами, белыми квадратами – с брекчией, синий пунктир – грязевой вулкан)

### Список литературы

1. Клеркс Я., Земская Т.И., Матвеева Т.В. и др. Гидраты метана в поверхностном слое глубоководных осадков озера Байкал // Докл. РАН, 2003, т.393, № 6, с. 822-826
2. Khlystov O., De Batist M., Shoji H., Hachikubo A., Nishio S., Naudts L., Poort J., Khabuev A., Belousov O., Manakov A., Kalmychkov G. Gas hydrate of Lake Baikal: Discovery and varieties // Journal of Asian Earth Sciences; 2013; 62(1):162-166
3. Myriam Cuylaerts, Lieven Naudts, Robbert Casier, Andrey V. Khabuev, Oleg V. Belousov, Eugene E. Kononov, Oleg Khlystov, Marc De Batist. Distribution and morphology of mud volcanoes and other fluid flow-related lake-bed structures in Lake Baikal, Russia. // Geo-Marine Letters; 2012; 32(5):383-394.

## **Первые результаты геолого-геофизических работ Class@Baikal-2016 на южном борту южной котловины озера Байкал.**

**Воробьев Р.В.<sup>1</sup>, Корост С.Р.<sup>1</sup>, Ахманов, Г.Г.<sup>1</sup>, Хлыстов, О.М.<sup>2</sup>**

*1-МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва*

*2-Лимнологический институт СО РАН, Иркутск*

В рамках экспедиции Class@Baikal-2016 по программе Training-through-Research (TTR) выполнен комплекс геолого-геофизических работ на южном борту южной котловины озера Байкал. Со стороны акватории район исследований примыкает к полю танхойских олигоцен-миоценовых угленосных отложений, обнажающихся в естественных выходах на побережье, и, предположительно, должен представлять собой его подводное продолжение. По данным батиметрической карты (De Batist et al., 2002) подводный склон изрезан серией глубоких каньонов. Дно большинства каньонов ровное, пологое за счет засыпания современными осадками. Каньоны разделены гребнями или плосковершинными хребтами согласного с каньонами простираения.

Проведены акустическая съемка с профилографом и донное опробование ударной трубкой с целью охарактеризовать строение и состав современных осадков и подстилающих коренных пород. Разрез, вскрытый ударными трубками на гребнях, разделяющих каньоны, в верхней части сложен глинисто-диатомовым илом, часто содержащим железистые корки. Толщина этого слоя первые десятки сантиметров. Ниже следует диатомово-глинистый интервал, представленный тонким переслаиванием различных по цвету слоев (5GY 4/1 и 5Y 4/1). Ниже разрез составлен глинистыми илами, маслянистыми, с очень редкими и мелкими пятнами гидротроилита. Содержание алевритовой примеси низкое, и не превышает 5%. Редко отмечаются единичные прослои, насыщенные гидротроилитом, с крупнопесчаной-мелкогравийной примесью. В целом, разрез существенно однороден.

На станции TTR-BL16-212G опробовалась нижняя часть склона гребня. Отобранный осадок был очень плотным, удалось отобрать лишь 35 см разреза. Верхние 15 см представлены диатомово-глинистым илом. Нижние 20 см сложены глинами плотными, сухими, содержащими незначительное количество алевритовой примеси и многочисленные чешуйки слюды, отмечались черные линзовидные прослои гидротроилита.

Пробы из центральных частей каньонов были представлены небольшим количеством песчаного и гравийного материала. Минеральный состав изучается.

В пределах изученного района находится грязевой вулкан, открытый и изученный ранее, в 2015 году, в совместных экспедициях Лимнологического института СО РАН и Университета Китами (Япония). Структура была опробована с целью отбора обломков из грязевулканических отложений, изучение которых может пролить свет на структуру осадочного разреза, прорываемого вулканом, и глубину заложения его корней.

В западной части района исследований была опробована плоская вершина одного из поднятий, разделяющих каньоны (терраса). Были отобраны осадки, представленные, в основном, глинами маслянистыми с алевритовой примесью, с прослоями и линзами песка мелкозернистого. Самый верхний интервал разреза представлен прослоем гальки размерами до 2х2х1 см в одной из колонок и плохосортированным песком в двух других.

Собранный материал обрабатывается в лабораториях МГУ имени М.В. Ломоносова.

### **Список литературы**

De Batist M., Canals M., Sherstyankin P., Alekseev S. & the INTAS Project 99-1669 Team, 2002. A new bathymetric map of Lake Baikal. <http://www.lin.irk.ru/intas/>



## Геоморфология, геофизическое строение и проблемы происхождения микроконтинентов и погруженных плато моря Скотия.

**Курбатова Екатерина Сергеевна, Дубинин Евгений Павлович,**

**Грохольский Андрей Львович**

*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова,*

*Географический факультет, г. Москва*

Межостровное море Скотия находится между островами Южная Георгия, Южными Сандвичевыми и Южными Оркнейскими. Большая его часть лежит в пределах Атлантического океана. Сложный рельеф котловины моря, отражающий всю совокупность эндогенных процессов, участвующих в его формировании, в свою очередь, является индикатором интенсивности их проявления. Одной из исключительных характеристик региона является наличие многочисленных погруженных или островных блоков, сложенных континентальной корой и разделенных небольшими бассейнами с океанической корой в центральной части, а также вдоль южного и северного обрамления моря Скотия.

В Центральной части моря Скотия рельеф дна представляет собой сочетание поднятий, сложенных утоненной корой, и котловин рифтогенного генезиса, вероятно подстилаемых океанической корой. В пределах описываемой области по особенностям рельефа можно выделить несколько провинций: Пири-Геттинген, Брюса-Дискавери, котловин Дав и Шота [3].

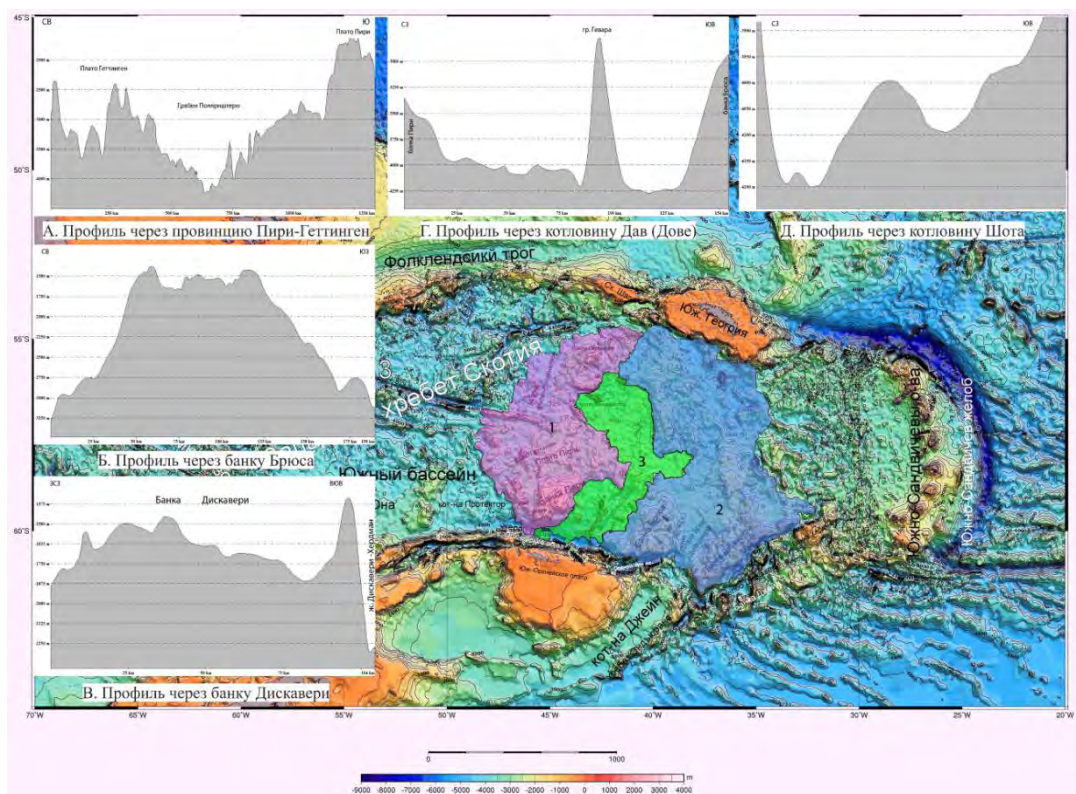


Рис. 1 Схема районирования центральной части моря Скотия на основе классификации Г.Б. Удинцева (2009). 1-провинция Пири-Геттинген. 2 – провинция Брюса-Дискавери. 3 –провинция котловин Дове и Шотта.

Провинция Пири-Геттинген располагается на самом западе центральной части моря Скотия, на западе ее ограничивают такие структуры, как Западный хребет моря Скотия,

котловина Протектор, на юге – желоб Лори, на севере — желоб Шаг. Морфоструктура описываемой территории сильно отличается от граничащей с ней на западе океанической коры, сформированной на Западном хребте Скотия. Рельеф провинции возвышенный, без резких перепадов высот. Максимальные глубины наблюдаются в районе грабена Полярштерн (4500 м), минимальные — в районе банки Пири (740 м), максимальная амплитуда глубин составляет 2500 м, в районе грабена Полярштерн.

Среди крупных форм рельефа в этой провинции следует отметить несколько плосковершинных подводных гор с характерной формой вулканических конусов. Их расположение соответствует крупным линиям разломов. Это горы Хинца (2400 м.), Зебера (2350 м.), Венцеля (2200 м.), Кертца (2025 м), Зейболда (1800 м.). Вероятно, плоские вершины этих подводных гор некогда находились на поверхности и подвергались действию морской абразии, также как и поверхности выравнивания в пределах банок Пири, Дискавери и Брюса [3]. Различия в глубине погружения этих поверхностей могут быть объяснены разной степенью утонения коры.

Провинция Брюса-Дискавери располагается на самом востоке центральной области моря Скотия. На севере провинция граничит с островами Южная Георгия, на юге — с южно-Оркнейским желобом и котловиной Джейн, на востоке — с банкой Хердмана и банкой Джейн, а также с другими структурами Восточного моря Скотия. Описываемая территория отличается спокойным и приподнятым, относительно дна Западной части моря Скотия, рельефом. Гребни возвышенностей здесь в основном наблюдаются на глубинах примерно 1500-2500 м, а их подножья оконтурены 3200- 3400 м. Средние глубины в районе плато Дискавери — 1300-1600 м, плато Брюса — 1600-1800 м. Вершинные поверхности плато расчленены грабенообразными впадинами глубиной 200-400 м и разбиты на отдельные небольшие блоки.

В пределах провинции котловин Шота и Дав расположены две четко выраженные в рельефе одноименные котловины. Обе располагаются на глубинах более 3000 м.

Котловина Шота располагается к востоку от грабена Полярштерн, выраженная в рельефе в виде округлой линзовидной депрессии, оконтуренной изобатой 3500 м. Котловина Дав на окраинах понижения характеризуется глубинами около 3300 - 3800 м, в осевой части – 4100-4200 м. Однако в отличие от котловины Шота, структура дна данного понижения не столь однородна.

Для центральной части акватории Скотия средний уровень аномального гравитационного поля колеблется около 10 мГал. При этом на общем фоне выделяются аномалии, в плане совпадающие с плато и котловинами, выделяемыми в рельефе морского дна. Так аномальное гравитационное поле в редукции в свободном воздухе для плато Брюса составляет 80 мГал, а для соседнего с ним бассейна Дискавери минимальное значение достигает около -10 мГал.

В отличие от гравитационного поля в редукции в свободном воздухе, в аномалиях которого отражаются главным образом особенности строения подводного рельефа, аномалии в редукции Буге могут содержать информацию о глубинном строении изучаемого района [1].

В среднем интенсивность аномального гравитационного поля в редукции Буге для центральной провинции составляет около 200 мГал [4]. Некоторые аномалии совпадают в плане с основными структурными элементами, слагающими океаническое дно. Характер морфологии этих аномалий, их интенсивность и положение свидетельствуют о различной мощности коры в центральной котловине от 20 до 10 км [2]. Подобные значения малы для

континентальной коры и избыточны для океанической. Вероятно, кора центральной котловины представляет собой кору континентального типа, сильно утоненную в процессе рифтогенеза, вплоть до формирования океанической коры на локальных участках.

Анализ распределения магнитных аномалий для центральной части моря Скотия показывает, что по большей части аномалии имеют неправильную вытянутую или изометрическую форму хаотичной ориентации. В плане аномалии в основном совпадают с поднятиями и бассейнами выделяемые в рельефе дна. Соответственно положительные аномалии наблюдаются для плато и поднятий, например, для плато Брюс максимальное значение составляет около 300 нТл, напротив, для бассейна Дискавери значение поля примерно -50 нТл [1].

Таким образом, рельеф дна и аномальные геофизические поля свидетельствуют о том, что кора центральной части моря Скотия сложена гетерогенными блоками, имеющими разное строение.

В отличие от центральной части Центральной области моря Скотия, ее южное обрамление подвергалось значительным деформациям сжатия и сдвига в процессе эоцен – ранне миоценовой ( $\approx 25$  млн.лет) субдукции в северо-западном направлении литосферы моря Уэдделла и последующего левостороннего сдвига, сформировавшего современную южную границу плиты Скотия в среднем миоцене ( $\approx 12$  млн.лет). Сдвиговые деформации привели к формированию малых бассейнов спредингового типа, сложенных океанической корой (бассейны Пауэлл, Протектор, Дав, Скан), которые отделяют друг от друга погруженные блоки микроконтинентов (Южно-Оркнейский, Террор, Пири, Брюса, Дискавери и др.). В отличие от погруженных блоков континентального массива Центральной области, многие из этих микроконтинентов представляют собой самостоятельные блоки, окруженные океанической корой и современными сдвиговыми желобами. На отдельных участках границы сформировались и стабильно функционируют бассейны типа пул-эпарт.

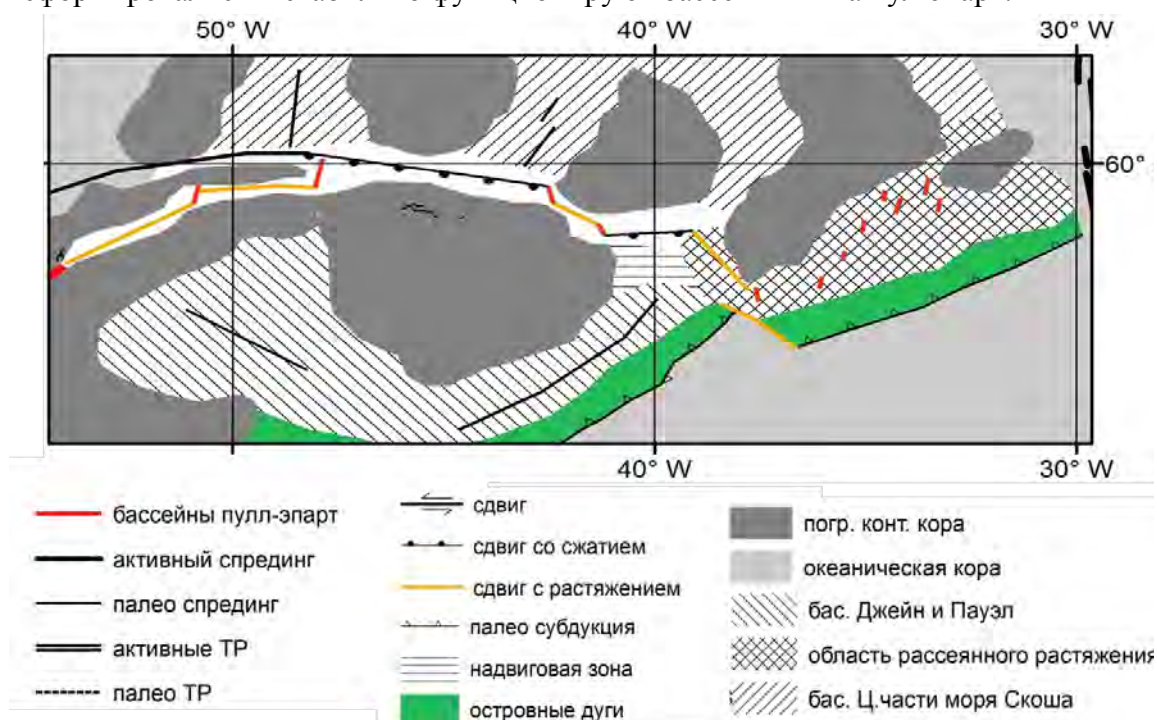


Рис. 2. Морфодинамическая схема южной границы моря Скотия.



Отметим, что в отличие от известных типов микроконтинентов и погруженных окраинных плато, сформированных в процессе континентального рифтинга и его перехода в океанический спрединг, микроконтиненты южной границы плиты Скотия представляют собой совершенно иной генетический тип и связаны с неоднократным изменением полей напряжений, приводящих к структурным перестройкам литосферы в процессе эволюции региона.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-05-03486).

### **Список литературы**

1. Тетерин Д.Е., Дубинин Е.П., Удинцев Г.Б., Кольцова А.В., Домарацкая Л.Г. Основные тектонические элементы моря Скоша // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 2. С. 262–271.
2. Тетерин Д.Е., Дубинин Е.П., Удинцев Г.Б. Глубинное строение и изостазия моря Скоша // *Физика Земли*. 2015. № 4. С. 14–24.
3. Удинцев Г.Б., Шенке Г.В. Центральная часть моря Скоша – палео-океаническая плиты, молодая рифтогенная плита или палео-земля Скоша? // *Украинский Антарктический журнал*, № 3, 2009 С.47-56.
4. Dubinin E.P., Kokhan A.V., Teterin D.E., Grokhol'sky A.L., Kurbatova E.S., Sushchevskaya N. M. Tectonics and types of riftogenic basins of the Scotia Sea, South Atlantic, *Geotectonics*, 2016, 50, 1, 35-53.

## **Аналоговое моделирование структурообразующих деформаций в процессе перехода от континентального рифтинга к спредингу.**

**Грохольский Андрей Львович, Дубинин Евгений Павлович**

*Московский государственный университет, Музей землеведения, г. Москва*

Рассмотрены особенности структурообразования в зонах растяжения океанической и континентальной литосферы с помощью метода физического моделирования. Моделирование проводилось на экспериментальном комплексе, который состоит из шести основных блоков: 1. Базис – установка, в которой проводятся эксперименты; 2. Блок питания нагревателей – позволяет нагревать и термостатировать модельное вещество во внутреннем объеме установки; 3. Электромеханический привод – обеспечивает поступательное движение рамки с поршнем по шлицам установки, осуществляя сжатие или растяжение модели, а также воспроизводя сдвиговые деформации; 4. Блок контроля температуры – позволяет контролировать температурный режим открытой системы (охлаждение с верха от вентилятора и нагрев модельного вещества с помощью нагревателей) модели с точностью до 0.5°C при подготовке и проведении экспериментов; 5. Блок визуализации – позволяет осуществлять фотосъемку моделей в процессе проведения экспериментов; 6. Блок первичной обработки – позволяет проводить фотообработку результатов экспериментов для последующего их ввода в компьютерную базу данных.

Критерии подобия для проведения такого типа экспериментов были разработаны А.И.Шемендой (Шеменда, 1983). В соответствии с ними были созданы модельные материалы и изучены их реологические свойства. Материалы обладают различными упруго – вязко – пластичными и хрупкими свойствами, параметры которых можно менять, изменяя их количественный и качественный состав, температуру, а также технологию приготовления. Эти вещества представляют собой коллоидные системы, составленные на основе жидких (минеральные масла) и твердых (церезин, парафин) углеводородов, тонкодисперсных порошков и поверхностно – активных веществ. Варьируя параметры и условия можно добиваться нужных с точки зрения выполнения подобия качественных и количественных свойств модельных материалов.

В настоящее время проводится экспериментальное изучение процессов связанных с рифтингом и спредингом океанического дна, а именно моделирование структурообразующих деформаций в зонах растяжения и сдвига литосферы. В рамках такого моделирования изучаются следующие проблемы: 1. Структурообразование при растяжении литосферы (модель спрединга с различной скоростью); 2. Особенности сегментации рифтовой трещины при ее формировании и пропегейтинге; 3. Деформации литосферы при формировании и развитии конкретных структур в зонах спрединга и областях сдвигов (трансформных разломов, перекрытий осей спрединга, нетрансформных смещений и т.д.); 4. Моделирование ультрамедленного спрединга в условиях различного наклона рифтовой зоны относительно направления растяжения в модели. 6. Моделирование деформаций неоднородной литосферы в условиях влияния термической аномалии (горячей точки) при различных параметрах модели: скорости растяжения, температуры источника локального нагрева. 7. Моделирование взаимодействия продвигающихся рифтовых зон со структурными барьерами. 8. Моделирование условий образования микроконтинентов и погруженных континентальных блоков.

Здесь представлены результаты исследований по трем экспериментальным сериям.

В первой серии рассматривались особенности сегментации рифтовой трещины при разных кинематических условиях рифтинга и спрединга. Моделирование в рамках упруго-пластичной модели показало, что при растяжении хрупкого слоя литосферы происходит нарушение его сплошности и образование рифтовой трещины по механизму продвижения «бегущей» трещины. Результаты моделирования позволили выявить качественную картину образования разломов и трещин в пределах рифтовой зоны, установить особенности сегментации рифтовой трещины, а также прояснить закономерности формирования различных структур (изгибы оси, эшелонные трещины, нетрансформные смещения, мелкие и крупные перекрытия и т.д.) в разных геодинамических условиях спрединга. Моделирование показало, что образование и развитие структур разного типа зависит от толщины литосферы на оси рифта, ширины зоны ее прогрева, направления спрединга и в меньшей степени от его скорости. При небольшой ширине зоны прогрева, локализованной вследствие наличия осевой магматической камеры, и при малой толщине литосферы (быстрый спринг) формируется относительно прямолинейная рифтовая трещина, разбитая на сегменты, ограниченные мелкими смещениями с небольшим перекрытием или без него. При широкой зоне прогрева, обусловленной поднятием астеносферного клина или влиянием мантийного плюма, смещения рифтовых трещин становятся более выраженными, а деформации охватывают более широкую область. Если при этом увеличивается толщина литосферы, рифтовые трещины становятся менее линейными, а структурные неоднородности – более контрастными. На конфигурацию рифтовой трещины в плане, помимо толщины литосферы, оказывает влияние наклон рифтовой зоны к направлению растяжения: чем больше угол наклона, тем более выражена эшелонированность трещин.

Во второй серии экспериментов рассматривались особенности внеосевого рельефа спрединговых хребтов. Результаты экспериментального моделирования показали, что различия в степени изрезанности рельефа, глубине рифтовой долины, частоте и амплитуде сбросов, геометрической устойчивости рифтовой оси определяются следующими параметрами: а) скоростью растяжения и аккреции новой коры, б) толщиной хрупкого слоя литосферы и ее реологическими свойствами; в) температурой подстилающей астеносферы. При быстрых скоростях спрединга наличие стационарного осевого магматического очага в коре предопределяет существование более тонкой и менее прочной литосферы, в результате чего геометрия оси сохраняет практически прямолинейный характер. Разрушение тонкой осевой литосферы, с малой механической прочностью, проявляется в малоамплитудном сбросообразовании. Все это приводит к формированию характерного, слаборасчлененного рельефа быстроспрединговых хребтов. При отсутствии стационарного осевого магматического очага в коре медленно спрединговых хребтов и наличии более мощной и прочной литосферы, наблюдается сильно расчлененный осевой и внеосевой рельеф. Перескоки оси происходят на более значительные расстояния в пределах рифтовой долины, приводя к геометрической нестабильности оси и формированию трансформных и нетрансформных смещений.

Третья серия экспериментальных исследований касалась изучения условий формирования микроконтинентов и погруженных или непогруженных плато и островов в процессе перехода от континентального рифтинга к океаническому спредингу.

Моделирование показало, что образование изолированного блока, ограниченного двумя перекрывающимися рифтовыми трещинами, обусловлено продвижением этих трещин навстречу друг другу. В экспериментах закладывалось фиксированное смещение между

разрезами, или ослабленными зонами с утоненной литосферы, из которых в последствие развивались рифтовые трещины. Образование микроблоков заключенных между двумя перекрывающимися рифтовыми трещинами, является результатом разрушения коры, при переходе от рифтинга к спредингу. В зависимости от толщины хрупкого слоя модельной литосферы перекрытия и их центральный блок в экспериментах имели овальную (трещины немного отклоняются друг от друга, а затем приближаются) или прямоугольную формы (трещины продвигаются параллельно друг другу, а затем формируется трещина их соединяющая). В проведенных экспериментах нередко формировались блоки различной формы. В целом это было следствием геометрии расположения задаваемых в модели неоднородностей (разрезов, зон утонения и ослабления).

Современным примером формирования такого блока является блок Синайского полуострова, ограниченный с запада отмирающим Синайским рифтом, а с востока активным рифтом Акаба.

В процессе растяжения, растягивающие напряжения локализуются вдоль одной рифтовой трещины, что, в конце концов, приводит к формированию вдоль нее новой океанической коры. Блок континентальной коры, заключенный между двумя рифтовыми трещинами испытывает деформации и вращение, как в горизонтальной плоскости (как по часовой стрелке, так и против на угол до  $90^\circ$ ), так и относительно вертикальной оси, что приводит к явной асимметрии рельефа его поверхности. Далее, растягивающие напряжения концентрируются на оси спрединга, которая постепенно удаляется от континентальной окраины. Нередко в процессе вращения этого блока, на новообразованной коре формируются сдвиги – раздвиговые и сдвиговые структуры типа трансформных разломов. Вдоль второй рифтовой трещины растягивающие деформации и тектоническая активность прекращаются и она отмирает. Деформированные континентальные блоки, как правило, оказываются не полностью отторженным от материнского континента, а отделены от него неудавшимся рифтом, или авлакогеном. Подобные структуры широко распространены: они отделяют от основного континента погруженные плато Эксмут, Валлаби, Воринг и непогруженные острова Шри Ланка, Тасмания, Сокотра и др.).

Моделирование показало, что полное отделение микроблока от материнского континента происходит лишь в редких случаях. При длительном спрединге на обеих, сведенных (перекрывающихся) осях, а также при перескоках молодой спрединговой оси происходит значительное вращение блока расположенного между ними в горизонтальной плоскости. Часто происходит вращение микроблока и в вертикальной плоскости с сопутствующей эксгумацией модельной нижней литосферы. Для полного отделения микроконтинента необходимо наличие термо-механического ослабления литосферы на молодой континентальной окраине, которое может привести к перескоку оси спрединга. При наличии термической аномалии (связанной, например, с деятельностью горячей точки начавшей свое функционирование после разрыва сплошности континентальной литосферы) возможен перескок оси спрединга в сторону горячей точки. Это может привести к отмиранию действующей оси спрединга, или изменению ее простирания, или формированию новой оси и отторжению микроконтинентального блока от материнского континента, в соответствии с концептуальной моделью [Müller et al., 2001; Gaina et al., 2003].

Во всех экспериментальных сериях принимали участие студенты и аспиранты геологического и географического факультетов МГУ. Во время практических занятий студенты осваивают работу с экспериментальным комплексом, с его отдельными блоками.

Учатся самостоятельно готовить и проводить эксперименты, обрабатывать полученные результаты, использовать их в курсовых, дипломных и других работах. Некоторые из них принимали участие в сборе и обработке данных во время исследований морского дна с научно-исследовательских судов. Наряду с экспериментальными результатами, полученные данные также используются студентами в написании научных и образовательных работ. За последние 10 лет, по результатам моделирования студентами были написаны и успешно защищены более 20 курсовых, около 10 дипломных и магистерских работ. Также на основе результатов экспериментов были написаны 3 кандидатские диссертации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-05-03486)

### **Список литературы**

*Шемента А.И.* Критерии подобия при механическом моделировании тектонических процессов // Геология и геофизика. 1983. № 10. С.10-19.

Gaina C., Müller R.D., Brown B., Ishihara T. Microcontinent formation around Australia // Geological Society of Australia Special Publication. 2003. V.22. P.399-410.

Müller R.D., Gaina C., Roest W.R., Lundbek D. A recipe for microcontinent formation // Geology. 2001. Vol. 29, № 3. P. 203–206

**Состав и происхождение углеводородных газов в донных отложениях озера Байкал на примере грязевого вулкана «Большой» и «Танхойского поля».**

**Карамова Гульназ Флусовна<sup>1</sup>, Видищева Олеся Николаевна<sup>1</sup>, Кислицына Екатерина Валерьевна<sup>1</sup>, Сливко Елена Викторовна<sup>1</sup>, Сливко Ирина Энверовна<sup>1</sup>, Ахманов Григорий Георгиевич<sup>1</sup>, Хлыстов Олег Михайлович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> - Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва,

<sup>2</sup> - Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

В работе представлены результаты Третьей международной экспедиции Class@Baikal–2016, которая проходила в акватории озера Байкал с 9 по 22 июля 2016 года. Традиционно одной из задач экспедиции было проведение газогеохимических исследований непосредственно на борту судна с дальнейшим изучением отобранных образцов углеводородного газа (УВ) в лабораториях МГУ имени М. В. Ломоносова. Всего было отобрано 464 образца УВ газа в ходе изучения следующих полигонов – район газовых сипов «Красный Яр», глубоководно-осадочная система «Хурай», грязевой вулкан «Большой» и подводная часть Танхойского поля южного борта южной котловины Байкала. На данном этапе работ молекулярный состав УВ газа был изучен для каждого образца, а изотопный состав для 61 образца. По проведенным исследованиям были выявлены наиболее интересные районы с точки зрения геохимии.

Грязевой вулкан «Большой» был открыт в 1999 г. в ходе съемки дна гидролокатором бокового обзора в рамках проекта INTAS-1995 в совместной российско-бельгийской экспедиции с приглашением геофизической группы «SONIC» (г. Санкт-Петербург) (Van Rensbergen et al., 2002, De Batist et al., 2002). По имеющимся батиметрическим данным имеет две вершины, высота одной из них 18 м, а другой 25 м. Диаметр основания всей структуры 1,1 км. На сейсмических записях отмечается подводящий канал (Cuylaerts et al., 2012; Ахманов, Хлыстов, 2015). Газ осадков был определен как микробиальный (Nashikubo et al., 2010). В пределах данной структуры было проведено 14 станций донного пробоотбора. В одной станции были подняты газовые гидраты жильного типа. Молекулярный анализ проводился для 92 проб УВ газа, изотопный для 20 образцов. Анализ молекулярного состава показал, что отобранный из осадков газ состоит в основном из метана, концентрации которого изменяется в пределах 0,38 мкл/л – 29138,90 мкл/л (в станциях TTR-BL16-185G и TTR-BL16-198G). В небольших количествах был обнаружен этан – до 306,97 мкл/л (TTR-BL16-198G). В основном концентрация газа имеет тенденцию увеличения с глубиной. В некоторых станциях были замечены небольшие скачки концентрации, что возможно связано с литологическим составом осадка. В результате изотопных исследований было выяснено, что для метана значения  $\delta^{13}\text{C}$  меняются в пределах от -36,4‰ в станции TTR-BL16-199G до -70,2‰ в станции TTR-BL16-202G, для этана от -17,2‰ (станция TTR-BL16-197G) до -18,7‰ (станция TTR-BL16-199G). По полученным данным можно сделать вывод, что газ, отобранный в трех станциях (TTR-BL16-197G, TTR-BL16-198G и TTR-BL16-199G), имеет термогенное происхождение, а в остальных биогенное.

Район подводного продолжения Танхойского поля олигоцен-миоценовых угленосных отложений, обнажающихся в естественных выходах на восточном побережье Байкала, был детально закартирован и впервые опробован ранее, в совместных экспедициях Лимнологического института СО РАН и Университета Китами (Япония) в 2015 г. Отложения танхойской свиты залегают на коре выветривания фундамента, отражают один из самых



ранних этапов формирования Байкальской рифтовой зоны, а их стратиграфические аналоги, возможно, являются древнейшими осадочными накоплениями Байкальской котловины (Мащук, Акулов, 2012). Изучение молекулярного состава газов, отобранных в экспедиции Class@Baikal-2016, показало, что газ состоит из метана с концентрацией от 2,96 мкл/л до 31699,03 мкл/л и этана с концентрацией от 0,09 мкл/л до 279,11 мкл/л. В целом концентрация газа увеличивается с глубиной. По результатам изотопного анализа для метана наиболее тяжелый изотопный состав был обнаружен в двух станциях (TTR-BL16-218G и TTR-BL16-219G), и предварительно может указывать на термогенную природу газа; наиболее легкий в станции TTR-BL16-206G – биогенный тип газа. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  для этана меняются от -17,6‰ до -24,66‰.

Таким образом, по результатам изучения УВ газа озера Байкал можно сделать следующие выводы. По результатам изотопного анализа выяснено, что УВ газы озера Байкал по происхождению делятся на три типа: биогенный, термогенный и смешанный. Биогенный тип газа формируется в придонном слое осадка мощностью первые метры. Для него характерен легкий изотопный состав углерода метана, в отличие от термогенного газа, для которого характерен, наоборот, тяжелый изотопный состав. Присутствие термогенного типа газа может свидетельствовать в пользу активных неотектонических движений, с которыми связана миграция глубинных флюидов. При разбавлении биогенного газа метаном термического происхождения образуется смешанный тип газа.

Тяжелый изотопный состав, высокие концентрации метана, а также наличие в осадках его гомологов до  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  могут свидетельствовать о наличии работающих нефтяных систем, что требует дальнейшего изучения.

### Список литературы

1. Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., участники TTR-Class@Baikal-2015. (2015) Проект Glass@Baikal: развивая традиции Международной программы "Обучение-через-исследования (Плавающий Университет)". В сб.: Труды IV Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU)", 19-24 октября 2015 г., Москва, Ломоносовский корпус МГУ. - Москва: Феория, 2015. - с. 29-33
2. Мащук И.М., Акулов Н.И. (2012) Олигоценные отложения Байкальской рифтовой впадины. – Геология и Геофизика, т.53, №4, с. 461-475
3. Van Rensbergen P., De Batist M., Klerkx J., Hus R., Poort J., Vanneste M., Granin N., Khlystov O., Krinitsky P. (2002) Sublacustrine mud volcanoes and methane seeps caused by dissociation of gas hydrates in Lake Baikal. // *Geology*. 2002, v. 30, № 7, pp. 631-634.
4. De Batist M., Klerkx J., Van Rensbergen P., Vanneste M., Poort J., Golmshtok A., Kremlev A., Khlystov O., Krinitsky P. (2002) Active Hydrate Destabilisation in Lake Baikal, Siberia? // *Terra Nova*. 2002; v. 14, № 6, pp. 436-442.
5. Cuylaerts M., Naudts L., Casier R., Khabuev A.V., Belousov O.V., Kononov E.E., Khlystov O.M., De Batist M. (2012) Distribution and morphology of mud volcanoes and other fluid flow-related lake-bed structures in Lake Baikal, Russia. // *Geo-Marine Letters*. 2012, v. 32, № 5, pp. 383-394.
6. Hachikubo A., Khlystov O., Krylov A., Sakagami H., Minami H., Nunokawa Y., Yamashita S., Takahashi N., Shoji H., Nishio Sh., Kida M., Ebinuma T., Kalmychkov G., Poort J. Molecular and isotopic characteristics of gas hydrate-bound hydrocarbons in southern and central Lake Baikal // *Geo-Marine Letters*. – 2010. - V. 30, № 3-4. - P. 321-329.

## **Картирование зоны стабильности газовых гидратов в пределах арктических морей России.**

**Семёнова А.А.<sup>1</sup>, Матвеева Т.В.<sup>1</sup>, Щур Н.А.<sup>2</sup>, Назарова О.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга», Английский пр., 1, г.Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Политехническая ул., 29, г.Санкт-Петербург, [vnii\\_semenova@mail.ru](mailto:vnii_semenova@mail.ru)

Картирование зоны стабильности газовых гидратов (ЗСГГ) является одним из способов ресурсной оценки гидратного газа, а при отсутствии прямых наблюдений газовых гидратов в пределах арктических морей России этот метод является единственно возможным. В данной работе представлены результаты *регионального* (в пределах российских арктических морей) и *глобального* (в пределах морских границ России) прогноза распределения газовых гидратов.

Мощность ЗСГГ может быть оценена различными методами. В целом, процедура выявления площадей и зон стабильности фильтрогенных гидратов газа сводится к совмещению значений температуры (и/или геотермического градиента) и давления в конкретной точке (дна моря или поддонного разреза) с той или иной равновесной кривой газогидратообразования в Р-Т координатах. Достаточно иметь сведения о глубине моря (батиметрию) и об изменчивости температуры дна (в зависимости от глубины воды), а также подходящую равновесную кривую диссоциации гидрата, чтобы разграничить акватории, где гидратообразование возможно или невозможно, и вычислить соответствующие площади. Несколько сложнее определить объем зоны стабильности газовых гидратов. Для этого требуются еще и данные о тепловом режиме недр - в зависимости от величины геотермического градиента мощность зоны стабильности гидратов может меняться более чем на порядок величины (от первых десятков метров до многих сотен метров). В большинстве случаев, при картировании используется только равновесная кривая гидрата метана с учетом его образования из раствора NaCl с соленостью 35‰, а основное внимание уделяется данным теплового потока в качестве одного из основных параметров, влияющих на результат оценки. В нашем исследовании в рамках *регионального* прогноза мы попытались приблизиться к *in-situ* условиям формирования газовых гидратов в морских отложениях, используя набор равновесных кривых для реально измеренных компонентный составов газа с учетом региональных измеренных вариаций солености морской воды. С этой целью был проанализирован большой набор данных измерений содержания углеводородных газов в поверхностных осадках (более 1500 геохимических станций), полученных НИИГА-ВНИИОкеангеология в ходе экспедиций 1976 – 1988 гг., а также в рамках проекта РУСАЛКА 2004, 2009 и 2012, и материалов публикаций (Cramer, Franke, 2005). Стоит отметить, что на некоторых станциях отмечено высокое содержание гомологов метана, что позволяет предположить миграцию катагенетического газа из глубинных источников. Идея состояла в том, чтобы определить параметры ЗСГГ в каждой точке отбора и измерения компонентного состава углеводородных газов. Для определения параметров ЗСГГ были использованы значения геотермических градиентов (Соловьёв и др., 1984), глубины воды (ИВСаО), среднегодовые значения придонной температуры и солености (из Павлов и др., 2015), соотношения метан/гомологи (на основе натуральных данных). Равновесные условия для каждой точки рассчитывались для системы «гидрат – вода+метан+гомологи + % NaCl» на

основе Sloan (1998). Мощность ЗСГГ была рассчитана с помощью программы "VNIO\_GHSZ", позволяющей совместить значения температуры (и/или геотермического градиента) и давления в конкретной точке (дна моря или поддонного разреза) с той или иной равновесной кривой газогидратообразования в P-T координатах.

Вышеупомянутый набор данных для сети точек с разрешением 2 градуса по долготе и 0,5 градуса в пределах морских границ России в Арктике был использован для *глобального* прогноза распределения газовых гидратов. Равновесные условия рассчитаны для системы «гидрат – вода + метан + 3,5% раствор NaCl». Мощность ЗСГГ была посчитана с помощью программы "VNIO\_GHSZ", карты распределения мощности ЗСГГ построены с помощью геостатического метода Inverse Distance to a Power.

Результаты исследования показали, что (1) даже на мелководье арктического шельфа (от 14 м и глубже) может прогнозироваться ЗСГГ для гидратов заданного состава; (2) установленные места разгрузки катагенетических газов в пределах распространения подводной криолитозоны и, соответственно, ЗСГГ представляют особый интерес, поскольку могут свидетельствовать о таянии мерзлых газо- и/или гидратосодержащих отложений. Интересно отметить, что рассчитанная мощность ЗСГГ в пределах шельфа арктических морей России довольно значительна и достигает 1095 м. Таким образом, созданы *региональные* (на основе реально измеренных данных компонентного состава газа) и *глобальные* прогнозные карты распространения ЗСГГ, позволяющие прогнозировать образование фильтрогенных газовых гидратов в прибрежных обстановках.

#### **Список литературы**

1. Павлов и др. (Ред.) (2015) Атлас гидрометеорологических и ледовых условий морей российской Арктики, НК «Роснефть», М., 128 с.
2. Соловьев В.А., Гинсбург Г.Д., Михалюк Ю.Н., Теленев Е.В., Борисов В.В., Иванов В.Л., Станицева О.Н., Яшин Д.С. (1984) Проблемы газовых гидратов в недрах Мирового океана и газогидратоносность Арктических акваторий (отчет по т.791), Приложение: Схема геотермической изученности Северного Ледовитого океана. Фонды ВНИИОкеангеология, СПб, 323 с.
3. Cramer B., Franke D. (2005) Indications for an active petroleum system in the Laptev Sea, NE Siberia. Journal of Petroleum Geology, Volume 28, Issue 4, p. 369–384.
4. Sloan E.D. (1998) Gas hydrates: review of physical/chemical properties // Energy & Fuels. Vol. 12. No 2., p. 191–196.

## **Новые данные о проявлениях грязевого вулканизма в Керченском проливе.**

<sup>1,2</sup>**Корост Дмитрий Вячеславович, <sup>1</sup>Миронюк Сергей Григорьевич**

<sup>1</sup>*Центр морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup>*Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова*

При изысканиях на шельфе нормативными документами предписывается оценивать опасность воздействий на морские сооружения извержений грязевых вулканов (ГВ) и выбросов флюидов из газовых карманов с АВПД.

Особую опасность для морских объектов представляют проявления грязевого вулканизма, как взрывного характера, так и в форме слабо изученных газодинамических явлений - быстропротекающих деформаций поверхности морского дна под действием АВПД флюидов (Таманский п-ов, м. Каменный, 2011 г.).

При эксплозивных (взрывных) извержениях грязевых вулканов возникают следующие основные поражающие факторы: динамический, тепловой (термический) и химический. Совокупное воздействие поражающих факторов на окружающую среду приводит к ее загрязнению, сотрясению грунтов и деформациям земной поверхности, трещинообразованию, активизации оползневых процессов, выбросу грязевулканической брекчии. Радиус зоны действия поражающих факторов при взрывном извержении может достигать нескольких километров.

Как известно, значительное число антиклинальных структур Краснодарского края и прилегающих акваторий Черного и Азовского морей осложнено ГВ. Ряд ГВ был зафиксирован и в Керченском проливе. В частности, западнее мыса Тузла располагается ГВ, впервые описанный С.А. Шепелем в 1926 г. Он получил название «Тузлинский». Вулкан активен. По данным С. А. Шепеля в районе расположения ГВ в 1914 г. сел на мель пароход «Цезарь». Выяснилось, что в зоне девятиметровых глубин возникла конусообразная четырехметровая отмель, пробы грунта которой были представлены сопочной брекчией.

ГВ «Тузлинский» приурочен к зоне активного разлома Керченского пролива. В этой же зоне на юге пролива расположены ГВ, которые были изучены в 1981 г. геологами ГНЦ ФГУГП «Южморгеология»). Все грязевулканические проявления связаны с растущей антиклинальной складкой. Корни вулканов, по микрофаунистическим данным, достигают отложений эоцена и палеоцена, а по минералого-петрографическим определениям – нижнего мела и юры (Богданович, 1986). В последние годы наблюдается сейсмо-геодинамическая активизация Керченского разлома.

Вулкан «Тузлинский» (согласно существующей классификации грязевулканических проявлений, рассматриваемый объект следует относить к классу «грязевулканических сопок»), в связи со строительством трубопровода, был детально исследован в 2015 г. специалистами ООО «Фертоинг» и ООО «Центр морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова» (ЦМИ МГУ), а также ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» в рамках Государственного мониторинга состояния недр.

В ходе морских инженерных изысканий, выполненных ООО «Фертоинг» и ЦМИ МГУ, были получены новые данные о проявлениях грязевого вулканизма в проливе. Геофизическими и гидрографическими исследованиями было установлено, что помимо «Тузлинского» ГВ, в 2 км к западу от него прослеживается группа грязевулканических сопок, имеющих, вероятно, общий глубинный очаг с указанным ГВ.

Выявленные сопки в плане имеют сравнительно небольшие размеры (25x20 м, 15x12 м и 40x35 м) и округлую форму. Высоты их составляют всего 0,5 -1,0 м.

Вытянутая с севера на юг структура ГВ представляет собой отчетливо выраженное в рельефе поднятие с перепадом высот около 3 м и линейными размерами около 90x60 м (рис.). Под объектом отмечается потеря записи, что в общем случае характерно для неструктурированных газонасыщенных отложений грязевых вулканов.

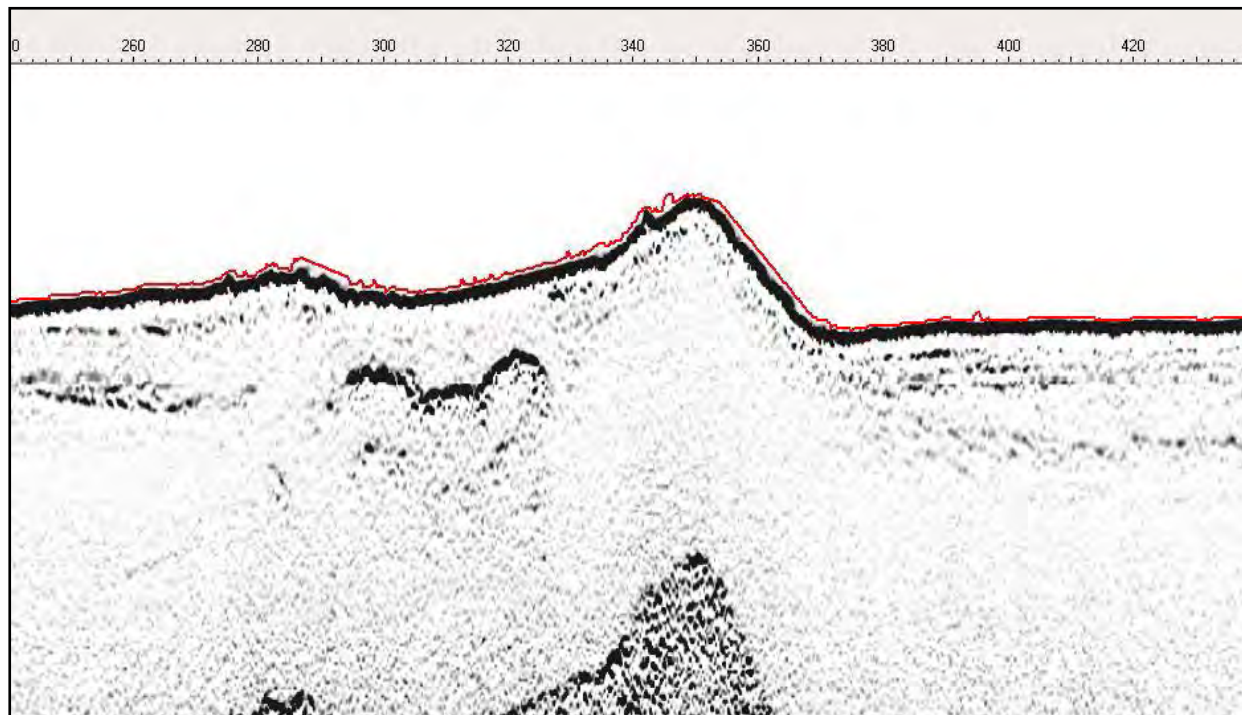


Рисунок. Сейсмоакустический разрез грязевого вулкана «Тузлинский (фрагмент)

Донный пробоотбор выполненный с помощью вибрационного пробоотборника Geo-Vibro Coreg, показал, что конус ГВ до глубины 1,7 м сложен газонасыщенной грязевулканической брекчией (представлена глинистыми грунтами), разделенной слоями песков и ракушечника с включением обломков литифицированных пород. В составе глинистой фракции отложений доминирующее место принадлежит смектит-иллитовой ассоциации, доля которой составляет 83 – 85% от массы глинистых минералов.

Первичное описание фрагментов пород из грязевулканических образований свидетельствует, что среди них встречаются обломки сидеритизированных аргиллитов, глинистого известняка, тонкозернистого песчаника.

Определение минералогического состава грунтов выполнялось методом рентгеновской дифрактометрии. Установлено, что кварц и плагиоклазы (альбит) составляют в них 60, 5%, калиево-натриевые полевые шпаты (микроклин) - 8, 4 %, доломит -1,0 %, кальцит-3,6 %, пирит -0,8 %, амфиболы – 1,3 %.

Для оценки состава и концентраций газов в осадках на глубинах 1, 0 м и 1, 6 м были отобраны две пробы. Исследования проводились с использованием метода равновесных концентраций (Head Space). Установлено, что содержание метана в брекчии относительно высокое (значительным содержанием углеводородных газов в грунтах принято считать концентрацию в 0,1 мл/л и выше) и составляет 58,9-66, 8 мл/л.

На участке развития сопок до изученной глубины (9,0 м) грязевулканической брекчии выявлено не было. Разрез здесь представлен типичной для изученной территории толщей песков с прослоями ракушечника. В нижней части разреза залегает слой, обогащенный глинистым материалом. Содержание метана в осадках этого слоя колеблется в очень широких пределах: от 0,02 -1,38 мл/л (сопка №2) до 52,6 -80,5 мл/л (сопка №1).

Высокая потенциальная опасность для морских сооружений, которую представляют изученные структуры, и прежде всего ГВ «Тузлинский», требуют дальнейшего проведения здесь широкого комплекса исследований, включая определение типа вулкана, морфометрических характеристик грязевулканической постройки и потоков брекчии, состава газов, зон АВПД, площади проявления, периодичности и интенсивности извержений.



## **СЕКЦИЯ: МОРСКАЯ БИОЛОГИЯ**

## **Морфометрические характеристики мидии *Mytilus galloprovincialis* из различных районов Чёрного моря (Крым).**

**Челядина Наталья Станиславовна, Попов Марк Александрович**

*Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН,  
г. Севастополь*

Двустворчатый моллюск *Mytilus galloprovincialis* Lam., 1819 один из перспективных объектов культивирования на Чёрном море. Изучение особенностей роста моллюсков и их морфометрических характеристик важно учитывать при выращивании мидий и использовать в экологическом мониторинге морских акваторий [1, 2, 3]. При изучении изменчивости раковин мидий выделены механизмы адаптации к техногенному прессингу: увеличение выпуклости (D/L), изменение относительной высоты (H/L) и толщины раковин [4, 5]. Поэтому при выборе акватории для культивирования мидий важно учитывать и применять индексы соотношений морфометрических параметров, т. к. они достаточно информативны и легко применимы.

В работе исследована изменчивость морфометрических показателей раковин культивируемых мидий на ферме внешнего рейда (г. Севастополь) в сравнение с аналогичными показателями мидий из искусственных и естественных поселений различных акваторий Чёрного моря.

Для исследования мидий отбирали ежемесячно с марта 2015 г. по июнь 2016 г. на мидийно-устричной ферме, расположенной на внешнем рейде г. Севастополя.

Проводили измерения следующих параметров: – длины (L), высоты (H), ширины (D), мм; использовали индексы отношений: H/L (вытянутость), D/L (выпуклость) [4, 5]. По длине раковины, мидий делили на три размерные группы:  $\leq 30$  мм, 30 – 40 мм,  $\geq 40$  мм.

Анализ динамики размерной структуры поселений мидий на ферме, расположенной на внешнем рейде не позволил точно оценить темпы роста моллюсков. Мы не смогли выявить прироста за весь период исследований в связи с тем, что поселение мидий на экспериментальном коллекторе вышло на поддержание своего динамического равновесия, при котором происходила стабилизация среднего роста особей во всех размерных группах, при этом, более крупные размерные группы мидий пополнялись подросшими моллюсками, а те в свою очередь влияли на средний размер изучаемых нами выборок. При этом доля мидий коммерческого размера  $\geq 50$  мм увеличивалась.

При изучении соотношений морфометрических параметров у мидий различных размерных групп отмечено, что достоверных отличий в индексе D/L не наблюдалось. Соотношение H/L у мелких особей было более высоким по сравнению с крупными мидиями ( $\leq 30$  мм: H/L – 0,65;  $\geq 40$  мм – 0,53). Соотношение морфометрических признаков в мидийных поселениях свидетельствует об уровне экологической комфортности или техногенной нагрузки, мелкие мидии оказались более чувствительны к изменениям окружающей среды. При сравнительном анализе морфометрических индексов мидий из различных мест обитания нами было показано, что максимальные соотношения H/L наблюдались на внешнем рейде (2005–2007 гг.), в бухтах Мартынова и Балаклавская (табл.).

Таблица 1. Соотношение морфометрических показателей мидий из различных мест обитания.

Районы сбора мидий	Литературный источник	п, экз. мидий	30 – 40 мм		≥ 40 мм	
			H/L	D/L	H/L	D/L
внешний рейд (2015-2016 гг.)	Наст. работа	2800	0,58	0,38	0,53	0,37
внешний рейд (2005-2007 гг.)	[6]	2500	0,63	0,36	0,59	0,39
б. Мартынова (2008-2010 гг.)	[6]	2450	0,64	0,35	0,56	0,39
б. Ласпи (2005-2007 гг.)	[6]	2200	0,58	0,37	0,51	0,36
б. Балаклавская (2008 г.)	[7]	286	0,63	0,38	0,57	0,37
Карадаг (2005 г.)	[8]	140			0,5	0,36

Для бухт Мартыновой и Балаклавской характерна повышенная техногенная нагрузка [6, 7]. Мидийная ферма на внешнем рейде (2005–2007 гг.) была расположена в непосредственной близости от аварийного выпуска неочищенных сточных вод. В 2012 г. ферма внешнего рейда была перенесена в более благоприятное место, поэтому индекс H/L уменьшился и стал сопоставим с такими чистыми акваториями, как б. Ласпи и Карадаг. У мидий с размером раковины  $\geq 40$  мм соотношение H/L во всех изучаемых местообитаниях было ниже, по сравнению с мидиями с размером раковины 30 – 40 мм.

Таким образом, при экспозиции в море мидийной фермы сроком более двух лет оценить средний прирост мидий невозможно за счёт выхода мидийного сообщества на фазу динамического равновесия. Индекс H/L раковин мидий является наиболее показательным при оценке степени техногенной нагрузки. Мелкие мидии наиболее чувствительны к техногенному загрязнению. Из исследуемых акваторий наиболее перспективными районами для культивирования мидий являются внешний рейд г. Севастополя, бухта Ласпи и акватория Карадага.

### Список литературы

1. Иванов В. Н. Биология культивируемых мидий / В. Н. Иванов, В. И. Холодов, М. И. Сеничева [и др.] – Киев: Изд-во Наук. думка, 1989. – 100 с.
2. Холодов В. И. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море / В. И. Холодов, А. В. Пиркова, Л. В. Ладыгина. – Севастополь: Изд-во ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – 424 с.
3. Дехта В.А. Консервативная изменчивость в мониторинге и оценке состояния морских экосистем на примере мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. / В. А. Дехта // Проблемы устойчивого функционирования водных и наземных экосистем: Сб. научн. тр., Ростов-на-Дону: Изд-во АзНИИРХ, 2006. – С. 102–104.

4. Дехта В. А. Адекватность механизмов морфофункциональной адаптации мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. к загрязнению / В. А. Дехта // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов: Материалы междунар. конф. – Петрозаводск, 2004. – С. 40.
5. Дехта В. А. Содержание химических элементов в раковинах и изменчивость их формы у мидий *Mytilus galloprovincialis* прибрежной зоны Чёрного моря / В. А. Дехта // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоёмов Азово-Черноморского бассейна: Сб. научн. тр., Ростов-на-Дону: Изд-во АзНИИРХ, 1998. – С. 312–319.
6. Челядина Н. С. Морфологические, биохимические и химические характеристики мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam., культивируемой в Чёрном море: автореф. дис. на соискание учёной степени канд. биол. наук: спец.: 03.02.10. / Н. С. Челядина. – Севастополь, 2014. – 24 с.
7. Ломакин П. Д. Океанологическая характеристика и оценка загрязнения вод Балаклавской бухты / П. Д. Ломакин, М. А. Попов // Севастополь: Изд-во ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. – 218 с.
8. Попов М. А. Размерно-возрастная структура популяции мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в районе Карадага / М. А. Попов, А. М. Попова // Материалы междунар. IV науч. практ. конф. – Ч.2. Зоология. – Симферополь, 2007. – 134–140.
9. Челядина Н. С. Вариабельность морфометрических показателей и содержания меди в раковинах коллекторных *Mytilus galloprovincialis* Lam. / Н. С. Челядина, Л. Л. Смирнова // Экология моря. – 2009. – Вып. 78. – С. 90–94.

## Влияние острой гипоксии на уровень метгемоглобина и антиоксидантный статус эритроцитов морского ерша (эксперименты *in vitro*).

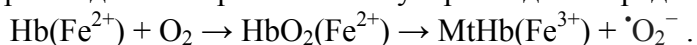
Солдатов Александр Александрович, Андреева Александра Юрьевна, Кухарева Татьяна Александровна, Ефимова Татьяна Викторовна, Моисеева Наталья Александровна

ФГБУН Институт морских биологических исследований (ИМБИ РАН), г. Севастополь

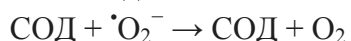
Гипоксические акватории широко представлены в шельфовой зоне Мирового океана (oxygen-minimum zones или OMZ) (Gewin, 2010). Особый интерес для изучения представляют организмы образующие здесь устойчивые скопления, которые проявляют явную толерантность к экстремальным формам гипоксии (концентрация кислорода менее 0.5 мг л<sup>-1</sup>; норма – 7-8 мг л<sup>-1</sup>) и аноксии (Danovaro et al., 2010).

Основное внимание исследователей при изучении толерантных к гипоксии форм жизни сосредоточено на биоэнергетических процессах. Установлено, что у рыб, обитающих в зонах кислородного экстремума, наблюдается принципиальная реорганизация метаболических процессов, направленная на оптимизацию энергетических трат (Gewin, 2010). Показано, что ферментативные системы цикла Кребса могут быть задействованы в анаэробных процессах генерации энергии, а дыхательная цепь митохондрий клеток приобретает нескомпенсированный тип организации (Савина, 1992).

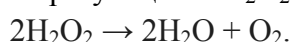
Наряду с отмеченными выше изменениями метаболизма и реакциями клеточных систем, функциональная целесообразность которых очевидна и не вызывает серьезных возражений, выявлен и ряд достаточно парадоксальных реакций. В условиях гипоксии (аноксии), когда окислительная нагрузка минимальна, установлен значительный рост активности ферментов антиоксидантного комплекса: каталазы (КАТ) и супероксиддисмутазы (СОД) в тканях (Lushchak, Vagnuykova, 2006), и повышение содержания метгемоглобина в циркуляционных системах (кровь). Поскольку большинство рыб лишь перманентно сталкиваются с условиями внешней гипоксии, предложено рассматривать факт роста активности КАТ и СОД, как подготовку к последующему окислительному стрессу. Второй факт пока не находит внятного объяснения. С нашей точки зрения эти процессы связаны и позволяют поддерживать окислительный метаболизм в тканях определенный промежуток времени при дефиците или отсутствии кислорода в среде. Переход гемоглобина в ферри-форму сопровождается образованием супероксиданионрадикала ( $\cdot\text{O}_2^-$ ):



Последний индуцирует реакцию дисмутации, контролируруемую СОД и каталазой, которая протекает в два этапа:



Образующаяся  $\text{H}_2\text{O}_2$  нейтрализуется каталазой:



Как видно и на первом и на втором этапах продуцируется молекулярный кислород, который может быть задействован в дыхательной цепи митохондрий в качестве акцептора электронов, то есть поддерживать окислительные процессы в тканях в условиях внешнего дефицита  $\text{O}_2$  или аноксии. Экспериментальной проверке данной рабочей гипотезы и посвящена настоящая работа.

## Материалы и методы

В качестве модельного объекта использован распространенный в Черном море донный вид *Scorpaena porcus* L. (морской ерш), обладающий высокой устойчивостью к дефициту кислорода. Рыб содержали в аэрируемых аквариумах, с плотностью посадки 10 л на особь при температуре 18-22°C. Отбор крови осуществляли путем отсечения хвостового стебля. В работе определяли свойства гемоглобина, а также в условиях *in vitro* изучали влияние гипоксии на образование метгемоглобина и общую активность ферментов антиоксидантного комплекса. Плазму отделяли от форменных элементов посредством центрифугирования (1500 об\*мин<sup>-1</sup> в течение 5 мин). Эритроциты трижды отмывали от плазмы в среде состава 128 mM NaCl, 3 mM KCl, 1.5 mM CaCl<sub>2</sub>, 1.5 mM MgCl<sub>2</sub>, 15 mM Tris, 2,2 mM D-glucose (pH 7.8) (Tiihonen and Nikinmaa, 1991). Часть полученной эритроцитарной массы лизировали двумя объемами охлажденного бидистиллята. Кривую кислородного насыщения для гемолизатов строили при помощи спектрофотометрического метода (Крикливый и др., 1979). Для создания гипоксических условий часть гемолизата продували в течение 20-60 сек газообразным азотом. Содержание метгемоглобина в пробах с гипоксией оценивали по методу (Benesch et al. 1973). Оставшуюся часть эритроцитов ресуспендировали и инкубировали в среде с заданной концентрацией кислорода в течение 4 часов. Общую активность антиоксидантных ферментов оценивали методом проточной цитометрии по флуоресценции красителя дихрофлуоресцеин (DCF-AM), интенсивность свечения которого отражает содержание в цитоплазме клеток активных форм кислорода (в особенности перекиси водорода) (Korystov et al., 2007). Интенсивность флуоресценции красителя регистрировали на проточном цитометре Beckman Coulter FC500 в канале FL1 (зеленая область спектра). Исследовали диапазон концентраций кислорода 0.57-8.17 мг л<sup>-1</sup>.

## Результаты и обсуждение

Из анализа кривых оксигенации гемоглобина скорпены следует, что данный белок сочетал в себе два важных свойства: высокое сродство к кислороду с повышенной чувствительностью к pH. Величина полунасыщения кислородом (P<sub>50</sub>) для него составляла 15,7±0,6 гПа при слабом кооперативном взаимодействии субъединиц. Константа Хилла (n) была немногим выше единицы – 1,27±0,03. Форма кривой диссоциации была близка к гиперболе (рис. 1). При этом гемоглобин обладал высокой чувствительностью к изменению P<sub>CO<sub>2</sub></sub> в газовой среде тонометра. При закислении кривые оксигенации значительно смещались вправо. Эффект Бора (r) составил -0,28±0,02.

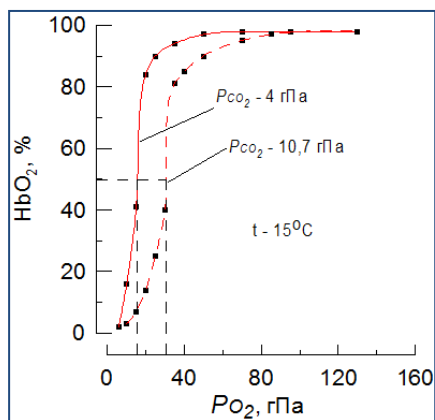


Рис. 1. Пример кривой оксигенации гемоглобина скорпены при различном парциальном давлении в газовой среде тонометра.



Рассмотренное выше сочетание свойств гемоглобина скорпенны актуально особенно в условиях экстремальных форм гипоксии. Высокое сродство к кислороду позволяет ему эффективно насыщаться окислителем на уровне респираторных поверхностей, а повышенная чувствительность к рН в условиях локального ацидоза обеспечивает более полную разрядку на тканевом уровне.

Анализ соотношения форм гемоглобина показал, что в условиях умеренной гипоксии выше  $1 \text{ мг л}^{-1}$  существенных изменений в соотношении форм гемоглобина не выявлялось (рис. 2 А). Спектр поглощения света соответствовал контрольной группе.

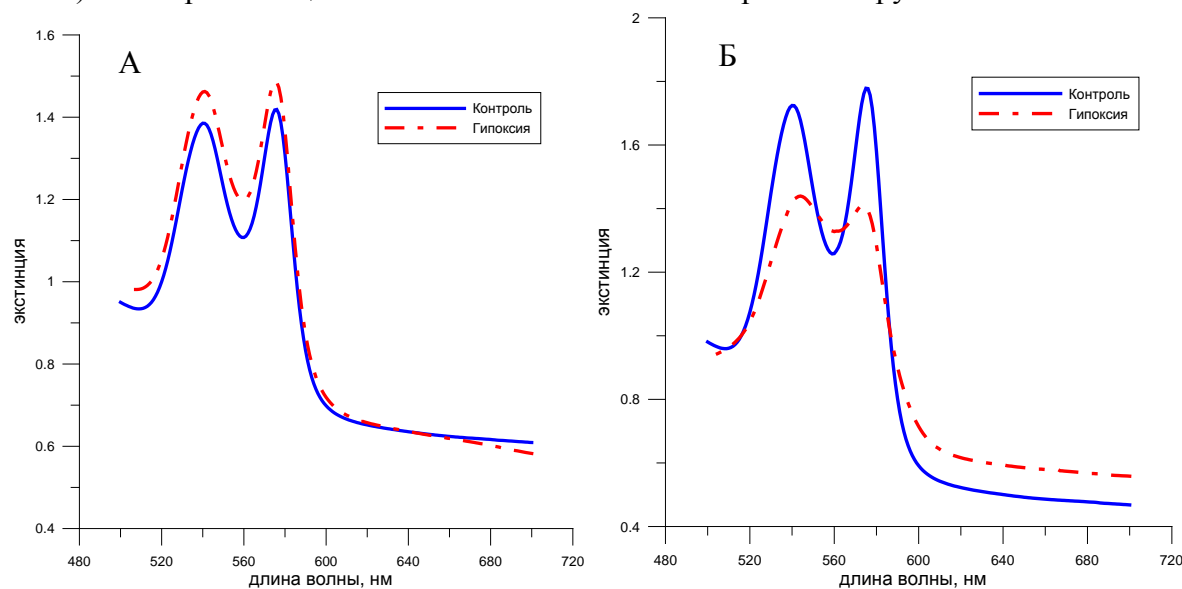


Рис. 2. Изменение спектра поглощения гемоглобина морского ерша в условиях экспериментальной гипоксии. А – концентрация кислорода  $0,30 \text{ мг л}^{-1}$ ; Б – концентрация кислорода  $3,21 \text{ мг л}^{-1}$ .

В условиях же глубокой гипоксии (менее  $1 \text{ мг л}^{-1}$ ) (рис. 2 Б) содержание пигмента, находящегося в ферри-форме достоверно возросло на  $8,25 \pm 2,38 \%$ : спектр экстинкции претерпевал изменения в районе  $560 \text{ нм}$ , что соответствует появлению метгемоглобина. У отдельных особей рост мет-формы достигал  $33 \%$ . Одновременно в пробах регистрировалось увеличение содержания дезоксигемоглобина на  $10-15 \%$ . При этом, корреляционной зависимости в изменениях соотношения ферри- и дезокс-формы гемоглобина не наблюдалось. Таким образом, гемоглобин данного вида, обладая высоким сродством к кислороду, осуществляет нормальный его перенос при уровне гипоксии в среде выше  $2 \text{ мг л}^{-1}$ . Гипоксическое изменения пигмента наблюдаются только при содержании кислорода в среде менее  $2 \text{ мг л}^{-1}$ , что в целом соответствует данным по другим донным организмам.

При понижении концентрации кислорода в среде происходило уменьшение содержания в эритроцитах активных форм кислорода, о чем свидетельствовало достоверное снижение флуоресценции DCF-AM. Уменьшение свечения красителя наблюдалось на всем исследованном диапазоне концентраций и наибольшего изменения достигало при глубокой гипоксии (снижение на  $61,21 \pm 7,50 \%$  относительно уровня контроля). Таким образом, при недостатке кислорода в цитоплазме эритроцитов происходило достоверное уменьшение содержания активных форм кислорода. Поскольку среди других веществ, наибольший вклад в изменения флуоресценции красителя вносит наличие перекиси водорода в клетках, мы предполагаем, что недостаток кислорода индуцировал увеличение активности каталазы и супероксиддисмутазы, нейтрализующих перекись водорода в цитоплазме клеток.

Оценка смертности эритроцитов в условиях гипоксии показала отсутствие достоверных различий между контрольными и опытными пробами. Это позволяет заключить, что гипоксия не вызывает нарушений целостности мембран клеток красной крови.

Таким образом, увеличение концентрации метгемоглобина в эритроцитах морского ерша в условиях глубокой гипоксии сопряжено с уменьшением активных форм кислорода и повышением активности антиоксидантных ферментов. Отсутствие взаимосвязи между изменениями в соотношении дезокс- и мет-формы гемоглобина говорит о независимости процессов, лежащих в основе этих переходов. Наряду с сохранением доли мертвых клеток в суспензии на уровне контрольных значений, это позволяет заключить, что рост концентрации метгемоглобина в эритроцитах находится в пределах нормы и не вызывает усиление процессов перекисного окисления липидов в клетках.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках гранта РФФИ проект № 16-04-00135.

### **Список литературы**

1. Gewin V Oceanography: Dead in the water. // Nature. – 2010. – Vol. 466 – p. 812–814.
2. Danovaro R. et al. The first metazoa living in permanently anoxic conditions // BMC Biol. – 2010. – Vol. 8, no. 1. – P. 30.
3. Lushchak V. I., Bagnyukova T. V. Effects of different environmental oxygen levels on free radical processes in fish //Comp. Bioch. Physiol. .B. – 2006. – Т. 144. – №. 3. – С. 283-289.
4. Савина М.В. 1992. Механизмы адаптации тканевого дыхания в эволюции позвоночных С-Пб.: Наука, 200 с.
5. Tiisonen K. Nikinmaa M. Short communication substrate utilization by carp (*Cyprinus carpio*) erythrocytes. // J Exp Biol. – 1991. – Vol. 161 – p. 509-514.
6. Крикливый И. А., Рекун Г. М., Артюх В. П., Стародуб Н. Ф. / Методы молекулярной биологии. – К.: Наук. думка, 1979. – С. 191–201.
7. Benesch R. E., Benesch R., Yung S. Equations for the spectrophotometric analysis of hemoglobin mixtures. //Anal biochem. – 1973. – Vol. 55. – №. 1. – p. 245-248.
8. Korystov Y. N. et al. Detection of reactive oxygen species induced by radiation in cells using the dichlorofluorescein assay //Radiation research. – 2007. – Т. 168. – №. 2. – С. 226-232.

**Черноморский моллюск *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805) – новый первый промежуточный хозяин для личинок трематоды *Gynaecotyla adunca* (Linton, 1905) Yamaguti, 1939 у крымского побережья Черного моря.**

**Белоусова Юлия Витальевна**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морских биологических исследований, Севастополь, 299011, пл. Нахимова 2, Крым, Россия*

Впервые трематоды *Gynaecotyla adunca* (Linton, 1905) Yamaguti, 1939 описаны как *Cercaria misenensis* (Palombi, 1940) от моллюсков *Cerithium vulgatum* Bruguière, 1792 в Средиземном море в середине 20-го столетия [4]. Позднее подобные церкарии были обнаружены А.В.Долгих у моллюсков *Nassa reticulata* (Linnaeus, 1758) у берегов крымского побережья [4]. По литературным данным стало известно, что личинки *C. misenensis*, найденные А.В.Долгих у берегов Крыма, идентичны с видом *C. sevellana* Russel-Pinto & Bartoli, 2002 от гастропод *Nassarius reticulatus* (Linnaeus, 1758) [3], а согласно последним молекулярным данным доказано, что *C. sevellana* из моллюсков *N. reticulatus* и *G. adunca* из краба *Carcinus maenas* Linnaeus, 1758, сведены в один вид [2]. В качестве второго промежуточного хозяина трематоды *G. adunca* в Средиземном море также зарегистрирована амфипода *Orchestia mediterranea*, а в качестве окончательных хозяев указываются чайки, которые постоянно присутствуют в биоценозах, где обитает первый промежуточный хозяин.

В настоящей работе сообщается о находке личинок *G. adunca* у нового первого промежуточного хозяина гастроподы *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805) у берегов Крыма и дается подробное описание морфологии исследуемых трематод.

Материалом для данной работы послужили собственные сборы моллюсков из устья реки Черной (Севастопольская бухта) и бухты Казачья в период с ноября 2011 г. – ноябрь 2012 г. Методом полного гельминтологического вскрытия исследовано 6790 экз. моллюсков *H. acuta*. Все ткани моллюсков обследовались компрессорным методом. В работе используется схема промеров трематод, предложенная А. Костадиновой [1]. Измерения даны в микронах, в пределах: минимума – максимума, средние и стандартная ошибка.

Из всех обследованных моллюсков 1,3% оказались инвазированными личинками *G. adunca*, ИИ составила 1-40, ИО –  $0,007 \pm 0,004$  экз./особь. Тело церкарий сплющено в дорсо-вентральном направлении. Церкарии мелкие. Дли на их тела  $84 \pm 3 \mu\text{m}$ , ширина –  $36 \pm 2 \mu\text{m}$ . Ротовая и брюшная присоски одинаковой величины длиной и шириной  $12 \times 21 \mu\text{m}$ . Ротовая присоска размером  $16 \pm 1 \times 15 \pm 0,5 \mu\text{m}$ , расположена субтерминально и вооружена крупным стилетом ( $10 \pm 0,5 \mu\text{m}$ ), идущим из центра ротовой присоски. Острие стилета может немного выступать над передним краем тела церкарии. Две пары стилетных желез открываются в передней части тела у начала стилета. Протоки стилета хорошо окрашиваются нейтральным красным и представлены извитыми каналами, подходящими к стилету 4 отдельными протоками. Пищеварительная система не развита. Выделительный пузырь имеет щелевидную или пузыревидную форму. Хвост длиной  $78 \pm 3 \mu\text{m}$ , сужается к своему концу (рис.1). Двигаются церкарии телом вперед, однако, что характерно, могут с легкостью отбрасывать свой хвост, ползая при помощи присосок.

Для партенит *G. adunca* проанализирована не только сезонная динамика численности, но и сезонная изменчивость состава их гемипопуляций. Для изучения структуры гемипопуляций дочерних спороцист *G. adunca* было выделено 5 типов возрастных градаций: I тип — микрогемипопуляции, содержащие только зародышевые шары (ЗШ); II тип –

микрогемипопуляции, содержащие зародышевые шары и эмбрионы церкарий (ЭЦ); III тип – микрогемипопуляции партенит, содержащие ЭЦ; IV тип – микрогемипопуляции, в которых содержатся как ЭЦ, так и зрелые церкарии (ЗЦ); V – гемипопуляция, содержащая ЗЦ, ЭЦ и единичные зрелые церкарии.

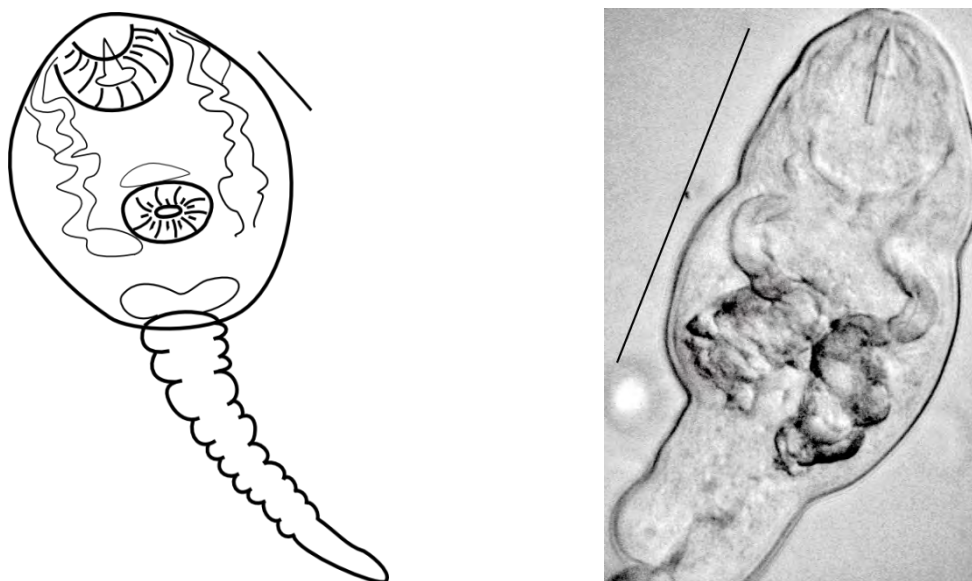


Рис.1. Личинка трематоды *Gynaecotyla adunca* (Linton, 1905) Yamaguti, 1939 у моллюска *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805) в акватории Севастополя; А – Фиксированная личинка; Б – Микрофотография живой личинки; Масштабная линейка А, Б – 50 мкм.

В целом, зараженность моллюсков партенитами *G.adunca* была низкая в течение всего года и большая часть моллюсков не заражена. Наибольшие средние значения численности отмечены весной. В зимние месяцы в моллюсках встречались только спороцисты, содержащие зародышевые шары. В марте появились группировки спороцист со смешанным содержимым (зародышевые шары и эмбрионы церкарий). В апреле – мае доля этих группировок резко снизилась, вплоть до полного исчезновения. На смену им пришли более зрелые группировки, содержащие эмбрионы или полностью сформировавшихся церкарий. Однако летом наблюдалось появление молодых группировок, содержащих зародышевые шары. При этом снизился процент зрелых группировок. В осенние месяцы отмечены только зрелые группировки. Таким образом, отмечено два пика численности зрелых группировок: во второй половине весны и осенью. Такая сезонная динамика связана с тем, что партениты *G.adunca* формируют микрогемипопуляции, самообновление состава которых происходит за счет способности части особей, наряду с церкариями, производить себе подобных.

### Список литературы

1. Kostadinova A. *Dicrogaster perpusilla* Looss, 1902 sensu Sarabeev, Balbuena (Digenea: Naploporidae): a note of caution 2009 Systematic Parasitology.73, P. 141–150.
2. Pina Susana, Fernanda Russell- and Rodrigues†Pedro. 2007. Clarification of *Cercaria sevellana* (DIGENEA: MICROPHALLIDAE) life cycle using morphological and molecular data. Journal Parasitology 93 (2), 318 – 322
3. Pinto Russel F., Bartoli P. 2002. *Cercaria s evillana* n. sp., a new cercaria (Digenea: Microphallidae) from *Nassarius reticulatus* (L.) (Mollusca: Prosobranchia) in Portugal. Systematic Parasitology 53: 175-182
4. Долгих А.В. Личинки трематод паразиты моллюсков крымского побережья Черного моря. - Дисс...канд. биол. наук. Севастополь-Львов, 1965.

## Особенности распространения популяций раков (Crustacea, Decapoda, Astacidae) на восточном шельфе Каспийского моря в современных экологических условиях.

**Ушивцев Владимир Борисович, Водовский Никита Борисович**

*ФГБУН Каспийский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
г. Астрахань.*

Каспийское море сохранило уникальные экосистемы. Особое место занимает астакофауна. Сам факт обитания речных раков в соленых каспийских водах является уникальным и заслуживающим изучения. В настоящей работе представлен сравнительный материал столетних исследований распространения раков на восточном шельфе Каспийского моря. Методики исследований прошлых лет (1910-1974 гг.) основывались на материалах промысловых уловов раков. Нами, (1978-2016 гг.) были применены методы прямого учета раков в среде их обитания. [3].

В современном Каспии обитают: каспийский длиннопалый рак – *Pontastacus eichwaldi* Bott и толстопалый рак – *Caspiastacus pachypus* Rathke. Основные их скопления сосредоточены на восточном шельфе моря.

По данным прошлых лет раки начинают встречаться от бухты Тюб-Караган, массовые скопления у мысов Сагындык и Меловой [6]. Промысловые запасы раков в районе Карабогаз-Гол, в заливе Бековича-Черкасского, в Казахском заливе [24].

Во все времена раков промыслили на восточном берегу моря [22, 7, 1, 6]. В период наших исследований (1981-2000 гг.) промысловые запасы раков сохранились лишь в отдельных районах восточного побережья [10, 12]. Слабо были заселены глубины 15-100 м, плотность скоплений 0,01-0,05 экз/м<sup>2</sup> [13]. На глубинах 12 м и выше численность возрастала (0,05 - 0,1 экз/м<sup>2</sup>), здесь основу составляли длиннопалые раки. Наиболее богато были представлены глубины менее 10 м. Основу скоплений составляли длиннопалые раки [14].

Исследования 2010 и 2016 гг. показали, что в Мангышлагском районе раки встречаются повсеместно, основу на 70% составляют толстопалые раки, обитавшие ранее (1981-1995 гг.) локальными скоплениями. Наибольшая их численность обнаружена значительно ниже по свалу глубин, в зоне с наибольшей продуктивностью и биоразнообразием бентоса [23] (рис. 1).

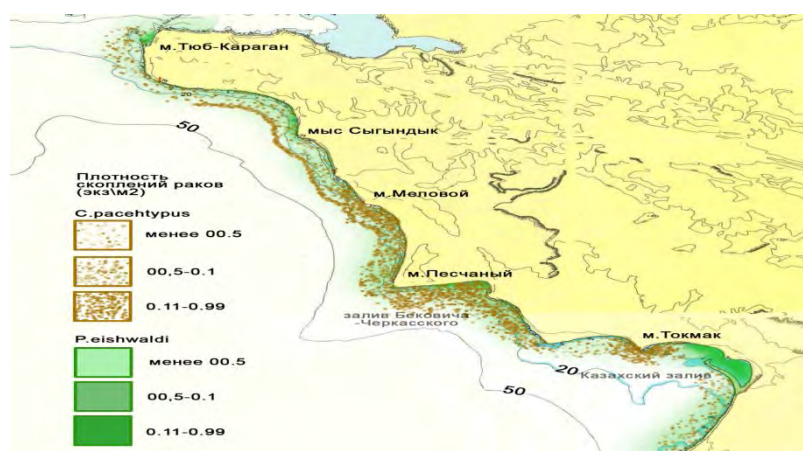


Рис. 1. Распространение раков на восточном шельфе Каспия по данным 2010 и 2016 гг.

По данным исследований прошлых лет у мыса Тюб-Караган в изобилии водились толстопалые и длиннопалые раки в начале века [7], в сороковых годах [1] и в семидесятых годах [6]. Во время наших исследований (1981-2000 гг.) были обнаружены лишь длиннопалые раки с плотностью скоплений 0,05 экз/м<sup>2</sup>. Съемка в октябре 2015 и феврале 2016 гг. показала, что популяция на 32% представлена длиннопалыми и на 68% толстопалыми раками, что свидетельствует о восстановлении численности последних. Плотность скоплений в среднем составила 0,08 экз/м<sup>2</sup>. В районе мыса Сагындык, где по данным Н.Я.Черкашиной [15], В.Д. Румянцева [6], толстопалый рак образовывал массовые скопления, в период 1981-2000 гг. раки этого вида были обнаружены единично [14]. У мыса Мелового, где толстопалые раки были особенно многочисленны [6], в 1981-2000 гг. были обнаружены лишь небольшие локальные скопления. Съемка 2015 года показала, что в этих районах доминантным видом вновь стал толстопалый рак с плотностью скоплений 0,12 экз/м<sup>2</sup> (рис. 1).

Исследования 1981-2000 гг. показали, что крупные популяции толстопалых и длиннопалых раков обитают в заливе Бековича-Черкасского. Причем в период подъема уровня моря [1976-1994] отчетливо наблюдалась тенденция вытеснения толстопалыми раками длиннопалых [10]. В период исследований 2010 и 2015 годов видовой состав популяции в заливе на 80% был представлен толстопалыми раками с плотностью скоплений до 1,2 экз/м<sup>2</sup>.

В истории астакологии изучены факты вытеснения одних видов раков другими [20, 21]. Доминантными, как правило, становились более плодовитые, эврибионтные виды. В нашем случае стенобионтный по отношению к длиннопалому, толстопалый рак, обитающий в узком диапазоне температур, имеющий низкую плодовитость [17], повсеместно вытеснил эврибионтного более плодовитого длиннопалого рака. В качестве примера подобных существенных перемен в распространении астакофауны Каспия следует привести современное (2010г; 2016 г.) состояние популяций раков в Казахском заливе.

По данным прошлых лет [7, 6, 14] в Казахском заливе в большом количестве обитали раки. Причем популяция была представлена исключительно длиннопалыми раками. Запасы в 1981г составляли. - 535,1т. Далее, до 1992г. запасы в среднем составляли 450 т [14]. Исследования 2010 и 2016 годов показали, что основные биотопы залива, где ранее обитал, исключительно длиннопалый рак на 75 - 80% заняты толстопалым раком. Плотность скоплений выросла и находилась в пределах 0,15- 1,3 экз/м<sup>2</sup>. Запасы раков определены 750 т, при этом промысловая часть популяции составила всего 124 т, по сравнению с 472 т в 1992 году.

Толстопалый рак значительно мельче длиннопалого, поэтому из 100 экз. лишь 15 – 20 имеют промысловые размеры, против 35 – 65 экз. у длиннопалого рака. Поэтому, несмотря на увеличение численности раков в заливе, их хозяйственная ценность снизилась в 4 раза с 472 т (1992 г.) до 124т (2016 г.). На наш взгляд экспансия толстопалого рака, предсказанная нами еще в начале 2000-х гг. [14] возникла из-за ряда причин усиливающих друг друга. Первой причиной стал подъем уровня моря на 2,5 метра (1976 - 1994 гг.), что привело к понижению температуры прибрежных вод на восточном шельфе моря и более комфортным условиям обитания для толстопалого рака [Ушивцев, 2001]. *S. raschurus* стенотермный вид и не выносит резких повышений температуры воды [17-19]. Этим можно объяснить распространение толстопалых раков в основном на северных участках шельфа от мыса Тюб-Караган до мыса Жиланды, где летом вода редко прогревается до 20<sup>0</sup>С. Как показали



исследования 2010 и 2015 гг. наше предположение относительно апвеллинга оказалось ошибочным, т.к. в период настоящих исследований, при тех же гидрологических условиях, толстопалые раки в этих местах были представлены обильно при температуре 10<sup>0</sup>С. Наиболее существенной причиной отсутствия раков в период прошлых исследований (1981 – 1994 гг.) и их обильного появления в 2010 и 2015 гг. может послужить объяснение с позиции их трофических отношений с осетровыми рыбами, которые активно выедали раков на этих глубинах.

Максимальное потребление раков белугой было отмечено в 1989 г. на восточном шельфе Каспия. Так, у рыб средней массой 20 кг в желудках находилось в среднем по 1 кг раков, индекс наполнения 530<sup>0/000</sup>. У белуги массой 78,6 кг вес раков в пищевом комке составил 2,8 кг, общий индекс наполнения желудка 352,2<sup>0/000</sup> [4]. В настоящее время, когда численность осетровых катастрофически снизилась, обитающие на их миграционных путях и нагульных площадях раки стали тупиковым звеном в пищевой цепи и значительно увеличили свою численность. По этой же причине логично объясняется захват толстопалыми раками площадей Казахского залива, где ранее обитали только длиннопалые раки, которые в отличие от толстопалых активно использовали убежища среди камней и плит, и рыли норы на мягких грунтах, поэтому были мало доступны для осетровых рыб. Толстопалые раки залива, на открытых площадях не использовали убежищ и активно выедались. В настоящее время осетровые рыбы в Казахском заливе встречаются единично.

Сравнительный анализ исторического материала с современными данными открывает картину динамики распространения раков по восточному шельфу Каспия. И если ранее колебания численности и видового состава раков были следствием естественных перемен, то данные последних лет свидетельствуют об антропогенном вмешательстве и безграмотном природопользовании, ведущим к необратимым нарушениям баланса в биоте моря.

### **Список литературы**

1. Бокова Е.Н. Речной рак Каспийского моря // Рыбное хозяйство. 1948. № 9. С. 32-37.
2. Бродский С.Я. Речные раки Советского Союза // Вестник зоологии Киев. 1973. № 4. С. 49-53.
3. Денисов А. Е. Некоторые вопросы методики водолазных исследований донных сообществ // Океанология. 1972. № 12. Вып. 5. С. 884-891.
4. Полянинова А.А., Кашенцева Л.Н. и др. Питание осетровых в Каспийском море, как метод познания формирования их популяций // Материалы Всероссийской Конференции по рациональному использованию биоресурсов внутренних морей СССР, Пярну. 1989. С. 86-88.
5. Румянцев В.Д. Толстопалый рак Каспия // Тр. КаспНИРХа. 1971. Т. 26. С. 265-266.
6. Румянцев В.Д. Речные раки Волго-Каспия. М.: «Пищевая промышленность». 1974. 84 с.
7. Суворов Е.К. О промысле раков вдоль вост. побережья Каспия // Материалы к познанию русского рыболовства. 1915. Т. 4. Вып. 15. С. 33-39.
8. Ушивцев В.Б. Определение запасов речного рака на Каспии // Рыбное хозяйство. 1981. № 4. С. 50 – 51.
9. Ушивцев В.Б. Запасы раков в Казахских водах Каспия // Тезисы докл. XIX науч. конф. «Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана ». 1986. С. 121.

10. Ушивцев В.Б. Влияние колебаний уровня Каспия на запасы раков // Тезисы докл. I -й Международной конференции «Биологические ресурсы Каспийского моря». Астрахань. 1992. С. 93.
11. Ушивцев В.Б. Морские объекты промысла // В кн: «Научные основы распределения пром. объектов Каспийского моря». БИВЦ. «Каспрыба». 1992. С. 98-99.
12. Ушивцев В.Б. и др., Состояние запасов раков на восточном шельфе Каспия в период подъема уровня моря // В кн: «Экосистемы морей России в условиях антропогенного пресса». 1994. КаспНИРХ – Астрахань, 1994. С. 155 – 157.
13. Ушивцев В.Б., Камакин А.М. Раки Южного Каспия (Crustacea:Decapoda, Astacidae): распр., характер.биотопов // Каспийский Плавающий Университет, Научный бюллетень. №1. 2000, Издательство КаспНИРХ – Астрахань, 2000. С. 157.
14. Ушивцев В.Б. Раки Каспийского моря (Crustacea, Decapoda, Astacidae) в условиях повышения уровня моря: распространение, динамика численности, промыслово-биологические особенности //дисс. ... канд. биол. наук, ИОРАН, Москва, 2001. 196 с.
15. Черкашина Н.Я. К биологии и промыслу раков туркменского побережья // В сб. «Разраб. биол. основ и биотехника развития осетрового хоз. в водоемах СССР». Ашхабад. 1968. С. 164.
16. Черкашина Н.Я. О размножении раков (Astacidae) юго-восточного побережья Каспия // Гидробиологический журнал. 1970. Т. 6. № 4 . С. 104-106.
17. Черкашина Н.Я. Биология *Astacus leptodactylus* *seichwaldi* *Bott* и *Astacus pachypus* *Rathke* в туркменских водах Каспия // Тр. ВНИРО . 1974. Т. 99. Вып. 5. С. 70 – 83.
18. Черкашина Н.Я. Распределение и запасы раков рода *Astacus* (Crustacea, Decapoda, Astacidae ) в туркменских водах Каспия // Тр. ВНИРО . 1975. Т. 108. С. 177 – 184.
19. Черкашина Н.Я. Распределение и биология толстопалого рака в туркменских водах Каспия // Зоологический журнал. 1976. Т. 55. Вып. 4. С . 602 – 606.
20. Цукерзис Я. М. О межвидовых отношениях широкопалого (*A. astacus* *L.* ) и длиннопалого (*A. leptodactylus* *E.*) в озерах восточной Литвы // Зоологический журнал. 1964. Т. 42. Вып. 2. С. 73-76.
21. Цукерзис Я.М. Исследования некоторых эколого-физиологических особенностей широкопалого и длиннопалого раков в связи с их межвидовыми взаимоотношениями // Тр. АН Литовской ССР. 1966. Сер. 5. Т. 2 (40). С. 345 - 351.
22. Яблонская Е.А. Многолетние изменения биомассы разных трофических групп бентоса Северного Каспия // Тр. ВНИРО . 1975. Т. 108. С. 50 – 64.
23. Ushivtsev V. B. Astacofauna of the present Caspian Sea (distribution, stock dynamics, behavior, projects of fishery) // Proceeding of the 12th Symposium IAA. Aagsburg – Germany – 1998. P. 57.

**Результаты геолого-геоморфологического и биологического анализов данных дистанционного исследования дна (гидроакустических и видеосъемки) и пробоотбора на участках площадных съемок в южной части Баренцева моря (по данным 28 рейса НИС "Академик Николай Страхов" (18-ого рейса «Плавучего Университета» - ТТР-18).**

**Е.А. Киселева<sup>2</sup>, С.С. Водопьянов<sup>1</sup>, А.С. Абрамова<sup>3</sup>, Ю.А. Зарайская<sup>3</sup>,  
А.И. Макушкина<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> – *Биологический факультет МГУ, кафедра зоологии беспозвоночных*

<sup>2</sup> – *ЦМИ МГУ,*

<sup>3</sup> – *ГИН РАН*

<sup>4</sup> – *IGN, Copenhagen University*

Исследуемый район располагается в южной части Баренцева моря на границе российской и норвежской экономических зон. Этот район представляет большой интерес для изучения экологической обстановки, в связи с активным использованием природных биоресурсов, повышенной антропогенной нагрузкой, а так же как потенциальный район добычи полезных ископаемых, а, следовательно, как область потенциального сокращения биологического и ландшафтного разнообразия. Кроме того, этот сектор Баренцева моря длительное время являлся «серой зоной» между Россией и Норвегией и не достаточно исследовался современными методами. В последние годы интерес к изучению данной территории возобновился в связи с решением вопроса спорных экономических интересов России и Норвегии. Область, расположенная в норвежских экономических водах в настоящее время активно изучается, что показывает база MAREANO [11].

Целью работы является изучение донных ландшафтов в районе детальных исследований в южной части Баренцева моря. Фактический материал включает большой объем данных, полученных в ходе 28 рейса НИС «Академик Николай Страхов» (18-ый рейс «Плавучего Университета» - ТТР-18, ЮНЕСКО-МГУ, Геологический институт РАН, 2011). Для достижения этой цели проводится комплексный анализ гидроакустических и биологических данных. Гидроакустические данные включают: цифровую модель рельефа (ЦМР), полученную многолучевым эхолотом (МЛЭ) (более 6200 км); сонарные данные МЛЭ (более 6200 км) и гидролокатора бокового обзора СОНИК (около 800 км) и информацию о строении верхней толщи осадочного чехла, полученную методом высокочастотного профилирования (общая длина профилей 6500 км) (рис. 1). Данные о составе бентоса и донных сообществах получены методом видеосъемки дна буксируемым подводным телевизионным аппаратом (БПТА) (16.5 часов), путем биологического и геологического пробоотбора (драги и трубки) (61 станция).

Изучаемый район расположен на Евразийском шельфе в пределах баренцевоморской Центральной зоны поднятий и представляет собой область субгоризонтальных шельфовых равнин, испытавших существенную переработку ледниковыми процессами в четвертичное время. В пределах района наблюдается переход от сезонной к многолетней криолитозоне [6]. Район находится в зоне неотектонических движений, связанных с проявлениями активного соляного диапиризма [4, 5]. Животное население дна Баренцева моря включает в свой состав по различным оценкам от 1500 до 2435 видов [2] главным образом корненожек, губок, кишечнополостных, червей, ракообразных, моллюсков, иглокожих и асцидий [3].

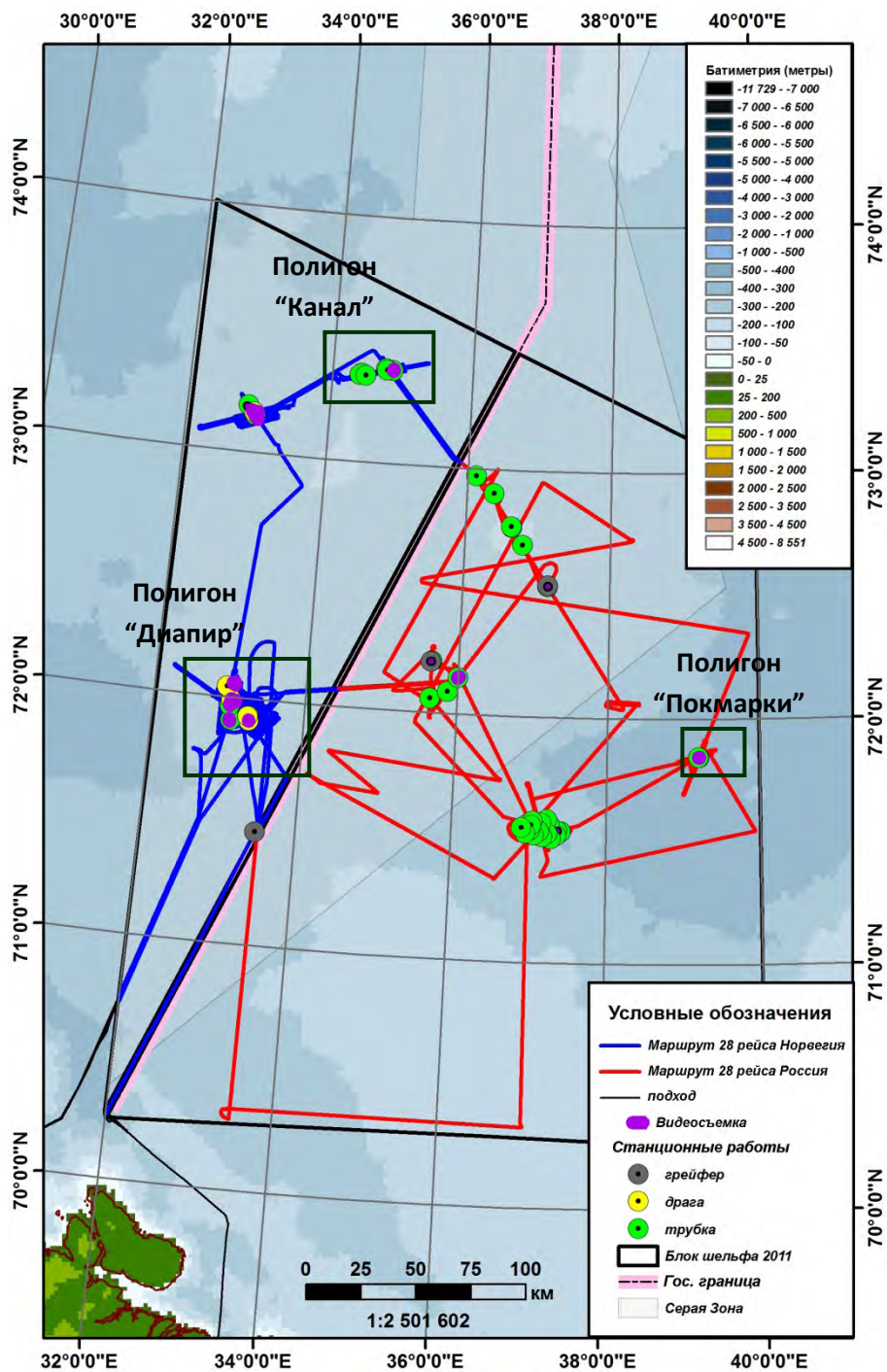


Рис.1. Район работ, границы лицензионных участков в норвежской и российской акваториях, схема маршрутного геофизического промера рейса 28 НИС «Академик Николай Страхов» и положения станций по программе TTR18AR и программам Президиума РАН. (МГУ, Геологический институт РАН, 2011).

Площадная гидроакустическая съемка проводилась на шести полигонах, а также на транзитных галсах между полигонами. В результате многолучевой съемки были детально отсняты несколько поднятий солянокупольного генезиса и участок эрозионно-тектонического подводного канала. В районах съемок наблюдаются многочисленные борозды ледникового выпаживания, а также многочисленные кальдеры проседания - покмарки (до 150 м в диаметре) в районах дегазационной активности [8].

На профилях подводного телевидения вдоль исследованных в рейсе ландшафтов были отмечены представители различных групп макрозообентоса [1, 10]. Собранные в рейсе во время геологического пробоотбора и зафиксированные на видеозаписях бентосные животные были разобраны по группам, определены до родов и видов. В результате была составлена таблица их встречаемости по станциям. По результатам обработки видеопрофилей составлены схемы распределения различных типов и классов животных вдоль изученных подводных объектов.

Данные, полученные в ходе рейса, были собраны в геоинформационную базу данных в программной среде ArcGIS. База содержит детальную цифровую модель рельефа по обработанным данным МЛЭ, некоторые результаты интерпретации данных ГЛБО [8, 9], результаты анализа геологического пробоотбора [7], а также анализа биологических проб [1, 10].

В данной работе мы представляем результаты геолого-геоморфологического и биологического анализа трех полигонов исследования: «Диапир», «Канал» и «Покмарки» (рис 1).

В пределах полигона «Диапир» располагается небольшое поднятие вытянутое в СЗ направлении (длиной 175 м, шириной 125 м). Вершинная часть поднятия располагается на глубинах 175 - 220 м, с превышением над подножием до 100 м. Вершинная поверхность поднятия представляет собой субгоризонтальную выровненную поверхность, изрезанную широкими, глубокими, линейно ориентированными ледниковыми бороздами выпахивания (шириной до 200 м, глубиной до 10 – 15 м), с единичными воронками - покмарками (d до 150 м). Опробование верхнего слоя осадков показало, что грунт представлен алеврито-глинистыми илами с большим количеством обломочных пород. Анализ видеозаписи БПТА - TVAR10 показал, что здесь представлено сообщество актиний (*Bolocera tuedia*, *Tealia feline*, *Hormathia sp.*), имеются отдельные представители макрозообентоса: губки, асцидии, морские звезды (*Urasterias lincki*, *Henricia sp.*), ракообразные *Bythocaris*, на камнях – типичное сообщество обрастателей (губки, актинии, мшанки). Биологический состав пробы AR67G, отобранной на вершинной поверхности поднятия: Polychaeta: *Spiochaetopterus typicus*; Gastropoda *fam.g. sp.*, Isopoda *fam.g. sp.*

Склоны поднятия изрезаны хаотично ориентированными ледниковыми бороздами выпахивания (шириной 100 м, глубиной 5 м), с отдельными концентрациями покмарок (средний d 35 м). Верхний слой осадков представлен глинистыми илами, алеврито-песчаными илами. В покмарках опробование показало наличие илов с галькой ледового разноса. На склоне имеется 2 типа биологических сообществ, диагностированных по видео БПТА - TVAR11, TVAR12, TVAR18, TVAR19: на литотипе глинистых илов - комплекс актиний (*Bolocera tuedia*, *Actinostola sp.*, *Tealia feline*, *Hormathia sp.*), на литотипе алеврито-песчано-гравийных илов – комплекс офиур (*Ophiura sarsi*). На обоих литотипах имеются отдельные крупные представители макрозообентоса: губки, гидроиды (*Tubularia*), гастроподы (*Trichotropidae gen.sp.*), морские звезды (*Urasterias lincki*; *Ctenodiscus crispatus*, *Henricia sp.*) раки-отшельники (*Pagurus sp.*, *Lithodes*), ракообразные *Bythocaris*; на камнях типовое сообщество обрастателей (губки, мшанки, актинии). В покмарках на склоне диапира (TVAR11, TVAR12, TVAR18, TVAR19) представлен комплекс *Tealia feline* с приуроченными к ним представителями *Bythocaris*, *Gastropoda* и *Porifera*, имеющими очень большую плотность. Также в покмарках были взяты пробы: AR04G (трубка), AR68D (драга). Из проб были идентифицированы следующие виды AR04G: Polychaeta: *Galathowenia oculata*,

Ophiuroidea fam. g. sp.; AR68D: Actiniaria fam. g. sp., Polychaeta (*Amphicteis ninonae*, *Melinna elisabethae*, *Nephtys pente*, *Owenia fusiformis*, *Chone*, *Spirorbis tridentatus*), Bivalvia (*Astarte borealis*), Amphipoda fam. g. sp., Holothuroidea (*Psolus phantapus*).

Подножье поднятия располагается на глубинах 270-300 метров, также осложнено ледниковыми бороздами выпахивания, количество которых уменьшается с увеличением глубины. Здесь увеличивается концентрация небольших покмарок (глубиной 2 м, шириной до 50 м). Верхний слой осадков представлен алевроито-глинистыми илами. Биологический состав пробы, взятой геологической трубкой AR66G: Polychaeta: *Spiochaetopterus typicus*, *Galathowenia oculata*, *Myriochele oculata*; Bivalvia fam. g. sp., . Из драги AR69D были определены: Polychaeta: *Spiochaetopterus typicus*, *Maldanidae g. sp.*, *Nephtys sp.*, *Galathowenia oculata*; Bivalvia: *Astarte elliptica*; Gastropoda fam. g. sp.; Amphipoda fam. g. sp.; Asteroidea: *Ctenodiscus crispatus*, Ophiuroidea: *Ophiura s arsi*. Анализ видеосъемки БТПА (TVAR15, TVAR16, TVAR17) показал, что на данных участках нельзя дать определение сообществу, верхний слой грунта подвержен значительной биотурбации – имеются многочисленные норки и трубки полихет, битая ракушка, скелеты кораллов, имеются одиночные редко встречающиеся представители макрозообентоса: губки, гидроиды (*Tubularia*), актинии (*Tealia feline*, *Hormathia sp.*), Gastropoda, морские звезды (*Ctenodiscus crispatus*, *Henricia sp.*), ракообразные *Bythocaris*. На видеоролике БТПА (TVAR14) можно выделить сообщество асцидий Styelidae, здесь также имеются одиночные представители макрозообентоса, такие же, как и на видеозаписях БТПА (TVAR15, TVAR16, TVAR17).

На полигоне «Канал» был закартирован эрозинно-тектонический канал, общей длиной 32 км. Подводный канал представляет собой русло шириной до 1,5 км и глубиной до 35 м. Русло осложнено валами, образующимися при переотложении осадочных пород с размываемых бортов канала. Дно и борта русла осложнены покмарками и бороздами ледникового выпахивания. В восточной части канала на сонарной записи фиксируются выходы более плотных пород. В пределах канала были собраны 7 качественных проб бентоса из гравитационных трубок (AR-11G, AR-12G, AR-13G, AR-14G, AR-15G, AR-17G, AR-18G). Во всех пробах были обнаружены разнообразные представители многощетинковых червей (Polychaeta): *Spiochaetopterus typicus* (во всех кроме AR-14G), *Maldane sp.* (AR-15G, AR-18G), *Galathowenia oculata* (во всех кроме AR-15G), а также трубки Chaetopteridae (AR-12G, AR-15G, AR-17G, AR-18G) и трубки Maldanidae (AR-14G). Через канал (поперек) было произведено 2 видеосъемки БТПА (TVAR4, TVAR5) и по ним диагностировалось донные сообщества. По бортам канала – сообщество актиний (*Actinostola sp.*, *Tealia feline*, *Hormatia sp.*)-офиур (*Ophiocantha bi dentata*, *Ophiura s arsi*), с отдельными представителями макрозообентоса: гидроиды (*Tubularia*), кораллы (*Gersemia f ruticosa*), морские звезды (*Urasterias lincki*; *Ctenodiscus crispatus*, *Henricia sp.*), креветки (*Bathycaris*); в русле канала – скопление валунов и обломочного материала с типичным сообществом обрастателей (асцидии (Styelidae), актинии, губки, мшанки).

В пределах полигона «Покмарки» расположен участок выровненного субгоризонтального дна, осложненного многочисленными покмарками изометричной формы (среднего d 150 м, глубиной до 30 м). Сонарные данные показывают, что в пределах района наблюдаются объекты с высокой акустической жесткостью. В водной толще зафиксированы звукорассеивающие аномалии, пространственно совпадающие с покмарками, что позволяет предположить наличие выходов газа. По результатам анализа видеоматериала, грунт представлен рыхлым заиленным песком, с существенным наилком. По результатам анализа



данных биологического пробоотбора в пределах покмарки были идентифицированы следующие виды Polychaeta: *Glypanostomum pallescens* (AR 25G), *Spiochaetopterus typicus* (AR 27G), *Maldane sarsi* (AR 25G), *Nephtys pente* (AR 26G), а также были идентифицированы виды Mollusca: Caudofoveata: *Chrystallophryson sp.* (AR 25G), и Gastropoda fam. g. sp. (AR 27G). На полигоне было снято 3 видеозаписи БПТА (TVAR-6 TVAR-7 TVAR-8), с помощью которых был произведен диагноз донного сообщества. Здесь представлено сообщество: Bathycaris с отдельными представителями макрозообентоса: кораллы (*Gersemia fruticosa*), двустворчатые моллюски (*Bivalvia*), офиуры (*Ophiocten s ericeum*, *Ophiura s arsi*), морские звезды (*Urasterias lincki*; *Ctenodiscus crispatus*), голотурии (*Psolus sp.*).

В результате проведенного геоморфологического анализа детальных полигонов съемки наблюдается сложный облик рельефа, обусловленный процессами солянокупольной тектоники, осложненными процессами ледниковой денудации, а также проявлениями процессов дегазации, выраженными в рельефе полями газовых воронок-покмарок. Биологические сообщества полигонов отличаются по доминантному виду, что связано в основном с характером грунта и глубиной; качественный состав биоты на полигонах достаточно однородный.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-35-00591 мол\_а.

### Список литературы

1. Водопьянов С.С. Об участии биолога в 18-ом рейсе Плавучего Университета (ТТР-18) в Баренцевом море. Материалы конференции Ломоносов-2012, секция «Геология»
2. Денисенко С.Г. Видовое богатство и биоразнообразие зообентоса Баренцева моря // Материалы XII научного семинара «Чтения памяти К.М.Дерюгина. – СПб., 2010. С. 29-41.
3. Зенкевич Л.А. Моря СССР, их фауна и флора. – М., 1956.
4. Крапивнер Р.Б. Быстрое погружение Баренцевоморского шельфа за последние 15-16 тыс. лет // Геотектоника. 2006. № 3. С. 39-51.
5. Мусатов Е.Е. Структура кайнозойского чехла и неотектоника Баренцево-Карского шельфа по сейсмоакустическим данным//Российский журнал наук о Земле. Том 1, №2, 1998. С. 157-183
6. Соловьев, Гинсбург, 2004, Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России» ГИН РАН
7. Чамов Н.П., Костылева В.В., Соколов С.Ю., Котельников А.Е. О возможном влиянии газоносных флюидов на состав донных отложений в районе свода Федынского (Баренцево море) // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2015а, № 1, с. 62-72
8. Чамов Н.П., Соколов С.Ю., Мороз Е.А., Зарайская Ю.А., Абрамова А.С., Добролюбова К.О. О проекте ГИН РАН и выявление признаков скопления и разгрузки газоносных флюидов в осадочном чехле Баренцева моря // Всероссийская конференция с международным участием «Арктика - нефть и газ 2015», 21-23 апреля 2015 г. МинОбрНауки РФ, ФАНО РФ, РГУНГ, ИПНГ РАН, 2015b, с.1-2.
9. Чамов Н.П., Соколов С.Ю., Зарайская Ю.А., Мороз Е.А. Картирование флюидонасыщенных осадков верхней части разреза, связанных с ними форм рельефа дна и звукорассеивающих объектов водной толщи в российском секторе Баренцева моря // Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата. Сб. тез. Всерос. конф. 18-19 сентября 2014 г. Секция 3. Архангельск: ИД САФУ, 2014. С. 101-10

10. S. Vodopianov, G. Kolbasova. The macro benthic fauna in the points of geological studies in the TTR-18 in the Barents sea. Joint workshop for AMGG (Arctic Marine Geology & Geophysics) Research School and TTR (Training-Through Research) Programming Post-Cruise Meeting, 26-27 March 2012. Sydspissen Konferanse Sender, Tromsø, Norway

11. MAREANO database– applying geoscience for ecosystem based ocean management in the Barents Sea region – methods, results, research challenges and perspectives. Boe R., Thorsnes T., Dolan M. et al. Geological Survey of Norway. <http://www.imr.no/english/activities/mareano>

## **Краб-стригун (*Chionoecetes opilio*) – вид-вселенец в Карском море.**

**Залота А.К., Спиридонов В.А., Веденин А.А.**

*ИО РАН им. П.П. Ширшова*

Естественный ареал краб-стригуна (*Chionoecetes opilio*) охватывает северную часть Тихого океана от Берингова пролива до вод Британской Колумбии и северной части Японского моря, Чукотское море с отдельными находками в восточной части Восточно-Сибирского моря и западной части моря Бофорта, а также Северо-Западную Атлантику [Squires, 1990]. Имеется одна находка в пограничном районе между морями Восточно-Сибирским и Лаптевых [Sokolov et al., 2009].

В Баренцевом море краб-стригун был впервые обнаружен в 1996 г. [Кузьмин и др. 1998]. Скорее всего, это явилось результатом интродукции [Соколов 2013; Pavlov, Sundet 2011]. В 2007 – 2008 гг. *C. opilio* встречался у северной оконечности Новой Земли и в районе пролива Карские Ворота [Соколов 2013], но в 2007 г. в западной части Карского моря краб не был обнаружен в ходе рейсов как ПИПРО [Анисимова и др. 2011], так и ИО РАН [Спиридонов и др., 2015]. В 2011 г. крабы были обнаружены в ходе рейса ИО РАН на единственной станции в желобе Святой Анны, вблизи границы с Баренцевым морем. В 2012 г. взрослые крабы и личинки были обнаружены на нескольких станциях обширной траловой съемки НИС «Дальние Зеленцы» в юго-западной части Карского моря [Зимица 2014], а в 2013 г. крабы были обнаружены и в юго-восточной, и в северо-восточной частях моря, их встречаемость составила около 20% траловых сборов [Соколов 2013].

В ходе экспедиций ИО РАН с 2013 по 2016 гг, распределение и размерный состав краба-стригуна изучали в ходе съемки двухметровым тралом Сигсби. В 2013 г. краб встречен не был, впрочем, количество тралений было невелико. В 2014 г. встречаемость крабов-стригунов на станциях съемки (глубины от 50 до 450 м, в основном илистые грунты) составила 60%, а в западной части моря она приближалась к 75%, молодь стригунов встречалась и в заливах восточного побережья Новой Земли [Спиридонов и др., 2015]. В 2015 году крабы были отмечены в большинстве заливов Новой Земли, а в заливе Седова он отмечен как руководящий вид.

Для продолжения мониторинга распространения и освоения крабом заливов Новой земли, в ходе 66-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (АМК 66) были проведены съемки дна с помощью видеомодуля, созданного сотрудниками ИО. По результатам съемок были отобраны траловые пробы в заливах Благополучия, Седова, Ога и Абросимова, а так же на двух станциях в открытой части Карского моря (ст. 5403 и 5404) у Карских ворот. У всех собранных крабов был определен пол, ширина (ШК) и длина (ДК) карапакса. Был проанализирован размерный состав группировок краба-стригуна собранных в Карском море с помощью алгоритмов разделения смешанных распределений MIXING MODEL PAST [Hammer, 2013] для всех собранных в ходе рейса крабов и отдельно для крабов, собранных в двух заливах (Благополучия и Абросимова).

В ходе рейса АМК 66 были впервые обнаружены самки краба-стригуна с икрой на плеоподах в Карском море, что, в совокупности с нахождением планктонных личинок и недавно осевшей молоди в заливах Новой Земли, подтверждает наличие репродуктивной популяции этого краба в Карском море. Обнаружены крупные особи в районе Карских Ворот превышающие размеры всех ранее собранных особей (ШК = 117 мм).

Все собранные крабы разделились на 8 основных размерных группировок (Табл.1,

Рис.1). Самые мелкие и два крупных краба в анализ включены не были, а сразу выделены в две отдельных группы: группы 1 (ШК менее 7 мм) – недавно осевшая молодежь краба, и группа 8 – крупные крабы ШК свыше 100 мм.

Таблица 1. Состав размерных групп всех собранных особей *Chionoecetes opilio* в Карском море в ходе рейса АМК 66 в 2016 г.

	Все крабы	Залив Благополучия	Залив Седова	Залив Ога	Залив Абросимова	Ст. 5403	Ст. 5404
Анализ	PAST	PAST			PAST		
Log likelihood	-1463	-1050			-60,25		
Akaike IC	2950	2116			152,1		
N	841	736	28	4	43	27	20
Группа	Средняя ширина карапакса (мм)						
1	около 4	6,2			около 4		
2	9,9	9,9	10,4			10,2	
3	14,5	14,4	15,4	15,6	15,0	14,9	
4	22,7	22,1	24,7		24,8	23,5	26,7
5	33,8	33,5	33,3		32,8	33,3	36,5
6	44,9		44,8		43,9	43,0	44,3
7	54,6				50,1	58,2	55,5
8	около 114					114,0	

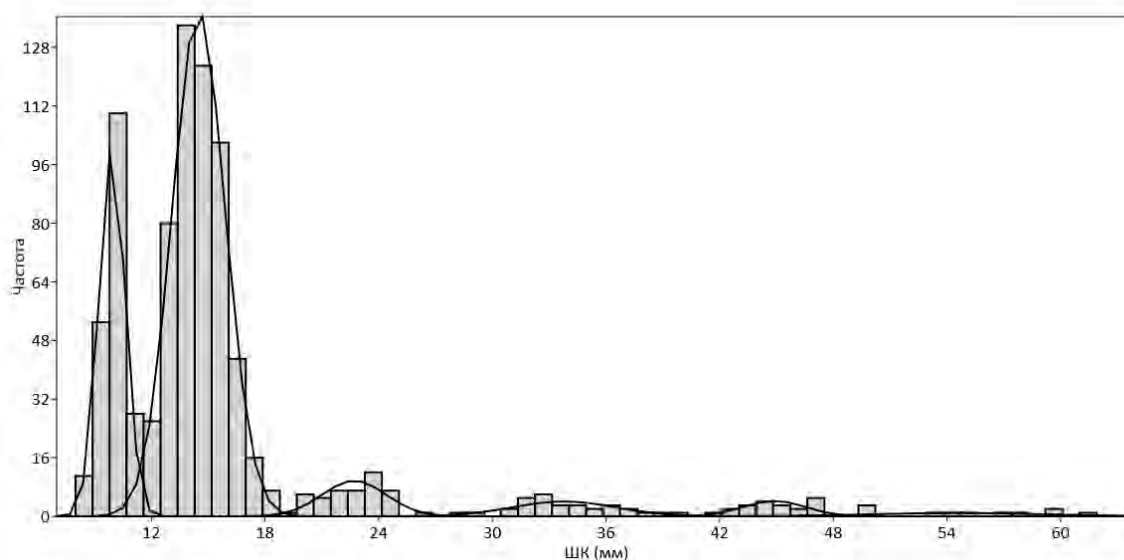


Рис 1. Результаты разделения смешанного распределения на нормально распределенные группы для размерного состава всех собранных особей *Chionoecetes opilio* в Карском море в ходе рейса АМК 66 в 2016 г. (см. Табл. 1).

Большое количество размерных групп позволяет предполагать присутствие

репродуктивной популяции краба-стригуна в Карском море. Широкий диапазон размеров в каждой группе, а так же большая разница средних размеров групп, возможно, создается за счет разного времени оседания личинок принесенных течениями из Баренцева моря и личинок непосредственно местной популяции. В ходе рейса АМК 66 была сформирована и отработана методика поиска и мониторинга популяций краба-стригуна с помощью видеомодуля, которая будет использоваться в последующих рейсах ИО РАН в Карское и другие сибирские моря.

Исследование подготовлено в рамках проекта Российского научного фонда, грант РНФ № 14-50-00095.

### Список литературы

Анисимова Н.А., Любин П.А., Менис Д.Т. Бентос // Экосистема Карского моря. Под ред. Б.Ф. Прищепы. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 2007. С. 43-105.

Зими́на О.Л. Находка краба-стригуна в Карском море // Биол. моря. 2014. Т. 40. № 6. С. 497-499.

Кузьмин С.А., Ахтарин С.М., Менис Д.Т. Первые находения краба-стригуна *Chionoecetes opilio* (Decapoda, Majidae) в Баренцевом море // Зоол. журн. 1998. Т. 77. № 4. С. 489-491.

Соколов А.М. Интродукция краба-стригуна в Карское море. Пример дальнейшей адаптивной стратегии этого вида в российском секторе Арктики (по результатам исследований ПИНРО в 2013 г.) // Рыбное хозяйство. 2014. № 6. С. 63-67

Спиридонов В.А., Залота А.К., Веденин А.А. 2015. Быстрое развитие инвазии краба-стригуна (*Chionoecetes opilio*) в Карском море // В кн. Материалы научной конференции «Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований». М.: ИТ-Океанологии РАН. ISBN 978-5904761-49-3. С. 179-183

Hammer Ø. 2013. PAST: PAleontological STudies Version 3.0: Reference Manuel. Natural History Museum. Oslo. <http://folk.uio.no/ohammer/past/past3manual.pdf>

Pavlov A.V., Sundet J.H. Snow crab // The Barents Sea ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press. 2011. P. 168–172.

Squires H.J. Decapod Crustacea of the Atlantic coast of Canada. //Canadian Bulletin Fisheries Aquatic Sciences. 1990. 221. 1–532.

Sokolov V.I., Petryashov V.V., and Vassilenko S.V. Order Decapoda. //In: S.V. Vasilenko S.V., V.V. Petryashov V.V. (eds). *Volume I. Illustrated Keys to Free-living Invertebrates of Eurasian Arctic Seas and Adjacent Deep Waters*. Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska Fairbanks, 2009. pp. 12–178.

**Долговременные изменения макрозообентоса Таманского залива Азовского моря: анализ повторных съемок 1955, 2008 и 2013 гг.**

**Колючкина Галина Антоновна, Спиридонов Василий Альбертович,  
Беляев Николай Александрович, Козловский Владислав Владимирович,  
Басин Александр Борисович, Симакова Ульяна Вадимовна**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, г. Москва*

В конце XX-начале XXI века экосистема Черного и Азовского морей испытали значительные изменения. В Черном море, где структура макрозообентоса оставалась сравнительно стабильной до 70-х гг. XX века, на фоне изменений климата, антропогенной эвтрофикации, заилении грунтов и вселения чужеродных видов (Виноградов и др., 1992; Заика и др., 2010) в начале XXI века происходили значительные колебания численности и биомассы донной фауны (Кучерук и др., 2002). В Азовском море основным фактором изменения донных сообществ стало периодическое снижение и повышение пресного стока в бассейне и связанные с этим колебания солености и содержания взвешенного органического вещества (Матишов и др., 2008). Донная фауна соединяющего Черное и Азовское моря Керченского пролива также подверглась значительным преобразованиям в XX-XXI вв. (Воробьев, 1934; Несис, 1956; Фашук и др., 2012). Наименее исследованным районом остался Таманский залив, открывающийся широким устьем в Керченский пролив. Этот водоем отличается более стабильной, чем в проливе соленостью, 15-18 psu, значительными сезонными колебаниями температуры, высокой ледовитостью. Он относительно мелководен (до 6-ти м глубины) и в нем отмечаются застойные явления (Несис, 1956). Исследования макрозообентоса этого района крайне немногочисленны (Зернов, 1913; Несис, 1956; Головкина, Набоженко, 2012). Однако работа Головкиной и Набоженко не позволяет провести метаанализ количественных изменений макрозообентоса залива, поскольку обобщают данные за 2003-2008 гг., то есть именно за тот период времени, когда была построена коса Тузла в 2003-2004 гг., и изменился режим течений (Дацюк и др., 2011), а также произошел разлив мазута (ноябрь 2007 г.) Поэтому в ходе настоящего исследования на основании собственных сборов и анализа доступных архивных данных было проведено сравнение структуры макрозообентоса Таманского залива Азовского моря середины XX и начала XXI века.

### **Материалы и методы**

Количественная оценка современного состояния макрозообентоса и донных осадков Таманского залива была выполнена в 2008-2013 гг. в ходе двух экспедиций ИО РАН (первая совместно с ВВФ Россия, Вторая – с ИАЗ ЮНЦ РАН). В работе были обследованы глубины 3-6 м, т.к. только для этих глубин было возможно сравнение с историческими данными. В 2008 г. водолазным методом были собраны ручным пробоотборником ( $0,0095 \text{ м}^2$ ) 32 пробы макрозообентоса с 8 станций. В 2013 г. был проведен повторный сбор проб на станциях 2008 г. тем же пробоотборником в той же повторности, а также был выполнен сбор 21 проба с 7 станций по схеме К.Н. Несиса 1955 г. сходным пробоотборником – дночерпателем Петерсена  $0,0034 \text{ м}^2$ . Промывка проб осуществлялась через газ 0,5 мм с последующей фиксацией 4% формальдегидом. Кроме того, в 2008 и 2013 гг. проведены анализ температуры, солености, содержания органического углерода, нефтяных углеводородов (НУ) и гранулометрического



состава грунта. Сравнение структуры и количественных характеристик макрозообентоса с архивными данными было проведено на основании дипломной работы К.Н. Несиса, включающей описания численности и биомассы всех обнаруженных автором видов макрозообентоса, объединенным по типам сообществ. Данные включали 26 пробы с 13 станций (5 ст. в мае, 8 – в июне 1955 г.), собранные дночерпателем Петерсена (0,04м<sup>2</sup>) и промытых через газ №18 (0,38 мм). Из-за более мелкого размера газа в пробах Несиса оставались животные, традиционно относимые к мейобентосу, которые в настоящий анализ не включены не были. Данные были проанализированы методами многомерной статистики.

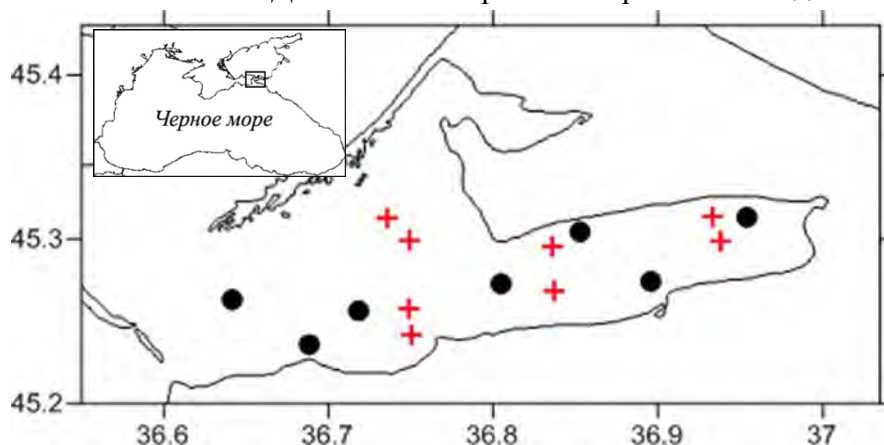


Рис. 1. Карта станций. Крестами отмечены станции 2008 и 2013 гг. по схеме ИО РАН, кругами – станции 1955 и 2013 гг. по схеме К.Н. Несиса.

### Результаты и обсуждение

В мае и июне 1955 г. в Таманском заливе было отмечено 11 и 19 видов макрозообентосных животных, в 2008 г. – 39, в 2013 г. – 45 (37 на станциях по схеме Несиса и 38 – по схеме 2008 г. ИО РАН). Таким образом, за 50 лет число видов увеличилось почти в 2 раза. В 1955 г. большая часть видов приходилась на ракообразных и полихет. В XXI веке резко возросла роль моллюсков. Численность макрозообентоса имела сходные значения в 1955 г., 2008 и 2013 гг. В 1955 г. численность определяли олигохеты, в 2008 – моллюски (преимущественно, брюхоногие), а в 2013 г. – полихеты. Биомасса сообществ в Таманском заливе в XXI веке была выше в 3-10 раз за счет более интенсивного развития двустворчатых моллюсков. Высокие биомассы в 2008 и 2013 гг. были связаны с возросшим обилием крупных двустворчатых моллюсков *Cerastoderma glaucum* и *Anadara kagoshimensis*.

К началу 2000-х гг. из Таманского залива достоверно исчез один вид двустворчатых моллюсков – *Abra prismatica*. Среди появившихся в 2000х гг. видов преобладают моллюски, среди которых *A. k agoshimensis* является дальним вселенцем. Интересно отметить, что оказавший значительное влияние на черноморские донных сообщества хищный моллюск *Rapana venosa* присутствует в заливе в следовых количествах (1 экземпляр за все годы подводных наблюдений). Рассчитанный на основании полученных данных индекс Чекановского-Серенсена составлял 0.44-0.54 при сравнении 1955 и 2000-х гг., а для 2000х гг. 0.73-0.79, что указывает на некоторое, но не принципиальное изменение видового состава фауны и большую «банальность» сообществ 1955 г.

Многомерный анализ данных, основанный на долях интенсивности метаболизма отдельных видов, позволил выявить шесть основных группировок, соответствующих основным доминантам сообществ (ANOSIM R=0.981, p=0.1%) (рис. 3а). Крупные моллюски (*C. glaucum* и *A. kagoshimensis*) вносили более 85% в сходство станций. При анализе данных

без учета роли этих видов, оказалось, что структура второстепенных видов для 1955 и 2000-х были сходными, за исключением станций мая 1955 г. с доминированием *C. glaucum*, собранных в Керченском проливе.

Принципиальных отличий между типом грунта в 1955, 2008 и 2013 гг. не наблюдалось – ил или песчанистый ил с ракушей. В 2013 г. по сравнению с 2008 г. содержание пелита в донных осадках западной части залива снизилось от 80-90% до 60-70%. Многомерный анализ данных показал, что из всех проанализированных факторов среды, только содержание НУ в донных осадках коррелировало с количественными показателями макрозообентоса (ANOSIM R=0.559, p=7.6%). Возможно вспышка Gastropoda в 2008 г. – следствие разлива мазута.

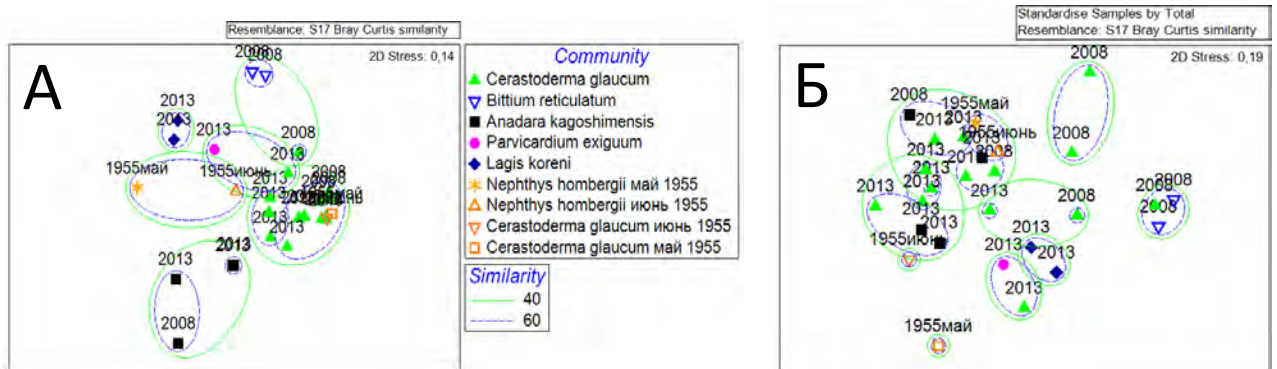


Рис 2. Сходство станций на основании интенсивности метаболизма отдельных видов.

Что вызвало столь низкую роль моллюсков в 1955 г.? Мы предполагаем, что в 1950-е гг. сильный подток Черноморских вод из-за повышения солёности в Азове способствовал стратификации в Таманском заливе. Кроме того, сборам Несиса предшествовала суровая зима 1953-1954 гг. когда толщина льда в заливе достигала 60 см, и холодная весна 54 и 55 гг., что привело к аномально низкому количеству фитопланктона – корма *Bivalvia*. Поэтому, а также благодаря задержке в реакции бентоса на абиотические условия (Старк, 1960), биоценоз *Nephtys hombergii* (Polychaeta) (обедненный вариант биоценоза *C.glaucum*, Несис, 1956) в заливе в 1955 г. стал результатом замора.

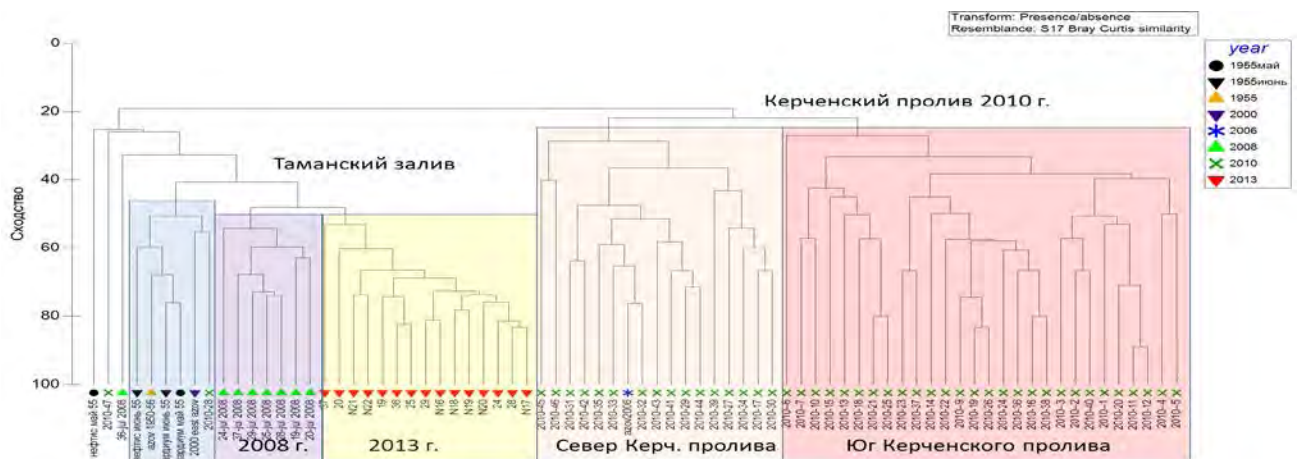


Рис 3. Кластерная диаграмма сходства видового состава биоценозов Таманского залива (1955, 2008 и 2013), Керченского пролива (1955 и 2010) и Азовского моря (1950-56 и 2006) на основании присутствия-отсутствия видов.

Насколько сходны биоценозы Таманского залива и Керченского пролива/Азовского моря с доминированием *C. gl aucum*? Многомерный анализ данных, опубликованных в статьях Старк (Старк, 1960-Азовское море; Сергеева, Буркацкий, 2002 (восток Азова), Терентьев, 2008 (юго-запад Азов), Фашук и др, 2012 (Керченский пролив) показал, что состав макрозообентоса Таманского залива более близок к составу азовоморской донной фауны, чем к южной или северной частям Керченского пролива. Однако метаанализ данных выявил отсутствие синхронности во времени в изменениях макрозообентоса Таманского залива, Азовского моря и Керченского пролива (рис. 4). И показал, что для определения влияния факторов на структуру макрозообентоса залива требуется хотя бы ежегодный ряд наблюдений по стандартной сетке с учетом мозаичности биотопа.



Рис 4. Факторы, определяющие динамику макрозообентоса в Азовском море.

## Заключение

Биоценоз *C. gl aucum* [*A. k agoshimensis*][*N.hombergii*] Таманского залива является производным азово-морского биоценоза *C. gl aucum*, обитающий при более высокой солености, меньших глубинах и отсутствии пресного стока. Синхронность изменений макрозообентоса Азовского моря, Керченского пролива и Таманского залива не выявлена. «Стабильность» биоценоза залива определяется обитанием в заливе эврибионтных видов с короткими жизненными циклами, а также отсутствием хищного брюхоногого моллюска *Rapana venosa*.

Работа поддержана грантом РФФИ №15-04-01870 и программами 23 и 30 президиума РАН.

## Список литературы

Виноградов М.Е., Сапожникова В.В., Шушкина Э.А. 1992. Экосистема Черного моря. М.: Наука. 110 с.

Заика В. Е., Сергеева Н. Г., Колесникова Е. А. Вселенцы в донной макрофауне Черного моря: распространение и влияние на сообщества бентали // Морський екологічний журнал, № 1, Т. IX. 2010. С. 5-22.

Кучерук Н.В., Басин А.Б., Котов А.В., Чикина М.В. 2002. Макрозообентос рыхлых грунтов северокавказского побережья Черного моря: многолетняя динамика сообществ //

Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. Ред. Зацепин А.Г., Флинт М.В. М: Наука. С.289-297.

Воробьев В.П. Гидробиологический очерк Керченского пролива. Керчь: АзЧерНИРО, 1934. 24 с.

Несис К.Н. Донная фауна Керченского пролива. Дипломная работа. М: Московский технологический институт рыбного хозяйства. 1956. Рукопись. Гидробиологический музей им. Н.С. Гаевской Калининградского государственного технического университета.

Фашук, Д. Я., Флинт, М. В., Кучерук, Н. В. (2012). География макрозообентоса Керченского пролива: динамика распределения, структуры и показателей развития. Изв. РАН. Сер. геогр, (3), 99-112.

Зернов, С. А. (1913). К вопросу об изучении жизни Черного моря. Зап. Импер. Акад. Наук, 32(1), 99.

Головкина, Е. М., & Набоженко, М. В. (2012). Современное состояние донных сообществ Керченского пролива (российский сектор) и заливов Таманского полуострова. Вест. Южного Научн. Центра РАН, 8(2), 53-61.

Дацюк, В. Н., Крукиер, Л. А., & Чикин, А. Л. (2011). Реализация на высокопроизводительных вычислительных системах математической модели ветровых течений в Керченском проливе. Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, 15(5 (45)).

Старк, И. Н. (1960). Годовая и сезонная динамика бентоса в Азовском море. Тр. Азовск. н.-и. ин-та рыбн. х-ва, 1(1), 167-229.

Сергеева Н.Г., Буркацкий О.Н. Макробентос восточной части Азовского моря в осенний период 2000 г.//Экология моря. 2002. Т. 61. С. 29-35.

Терентьев А.С. Макрозообентос юго-западной части Азовского моря в условиях эксплуатации газоконденсатных месторождений// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сборник научных трудов, В. 17, 2009 г. С. 327-348.

Матишов, Г. Г., Шохин, И. В., Набоженко, М. В., & Польшин, В. В. (2008). Многолетние изменения донных сообществ Азовского моря в связи с характером осадконакопления и гидрологическим режимом. Океанология, 48(3), 425-435.

**Исследование кормовой базы атлантического моржа в Печорском море на полигоне между островами Вайгач и Долгий.**

**Мардашова Мария Валерьевна<sup>1</sup>, Шабалин Николай Вячеславович<sup>1</sup>,  
Козловский Владислав Владимирович<sup>1,2</sup>, Мокиевский Вадим Олегович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В.Ломоносова», Москва

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Атлантический морж (*Odobenus rosmarus rosmarus* L.) - уникальный для региона Баренцева моря вид, включенный в Красную книгу РФ. В силу антропогенного воздействия на малочисленные местообитания моржей, требовательных к различным факторам окружающей среды, этот вид находится под угрозой, в том числе по причине эксплуатации углеводородных месторождений в юго-восточной части Баренцева моря. В Печорском море отмечаются лежбища атлантических моржей на участке между островами Вайгач и Долгий на границе Баренцева и Карского морей. До конца XX века численность моржей в юго-восточной части Баренцева моря оценивалась в 200 особей (Соколов и др., 2001). По результатам учетов последних лет, численность моржа возросла десятикратно (Семенова и др., 2015). Резкий рост численности охраняемого вида требует оценки его кормовой базы.

Пищей моржам служат в первую очередь двустворчатые моллюски (Чакилев, Кочнев, 2014) и ракообразные, реже другие беспозвоночные животные (Крюкова, 2015), а также рыба и морские млекопитающие. Детальные исследования рациона атлантических моржей показали, что основой их рациона являются три вида двустворчатых моллюсков: *Mya truncata*, *Hiatella arctica* и *Serripes groenlandicus* (Born et al., 2003). Реже пищей служат ракообразные, прочие же формы (асцидии, черви, иглокожие, рыбы) играют второстепенную роль (Болтунов и др., 2010). Отмечены также исключительные случаи питания атлантических моржей нелетающими линными короткоклювыми гуменниками (*Anser brachyrhynchus*) на Шпицбергене (Fox et al., 2010).

Летом 2015 г провели количественную съемку донной фауны с 14 станций на глубинах 10-30 м в месте наибольшего скопления атлантических моржей (рис. 1). Район исследования приходится на диапазон глубин от 11 до 35 м, что соответствует мелководьям с мягкими заиленными грунтами по: Зенкевич, 1927 и Dahle, 1998. На всех станциях, кроме двух, содержащих заиленный песок и мелкий гравий, в осадках преобладает глинистый ил.

Всего в материале обнаружено 133 таксона донных беспозвоночных животных, среди которых наиболее представлены многощетинковые черви Polychaeta (58 видов; рис. 3.1), двустворчатые моллюски Bivalvia (17 видов), брюхоногие моллюски Gastropoda (16 видов), бокоплавы Amphipoda (14 видов), кумовые раки Cumacea (7 видов). Прочие таксоны представлены 1-2 видами: Anisopoda, Anthozoa, Caudofoveata, Cirripedia, Copepoda, Echiurida, Foraminifera, Hydrozoa, Isopoda, Nematoda, Nemertini, Ophiuroidea, Pantopoda, Priapulida, Sipunculida, Tunicata.

В среднем на пробу приходится  $30 \pm 10$  видов, максимальное число видов в пробе 46. При этом на одной станции встречено в среднем  $40 \pm 20$  видов, наибольшее значение 62-63 вида достигается трех станциях. Наиболее богаты видами более глубоководные станции (от 25 м); самые бедные – станции с глубинами менее 18 м, с большим содержанием песка в грунте. Станция 14, хоть и самая глубоководная из всех, обладает наиболее твердыми фракциями грунта, вследствие чего и наименьшим разнообразием. Пробы между собой довольно сходны, всего среди 133 видов у 37 наблюдается встречаемость более 50%. Стопроцентная



встречаемость отмечается у 4 видов: моллюска *Macoma calcarea* и полихет *Micronephthys minuta*, *Scoloplos* gr. *armiger* и *Galathowenia oculata*. Минорных форм достаточно много: 42 вида встречаются лишь на одной станции.

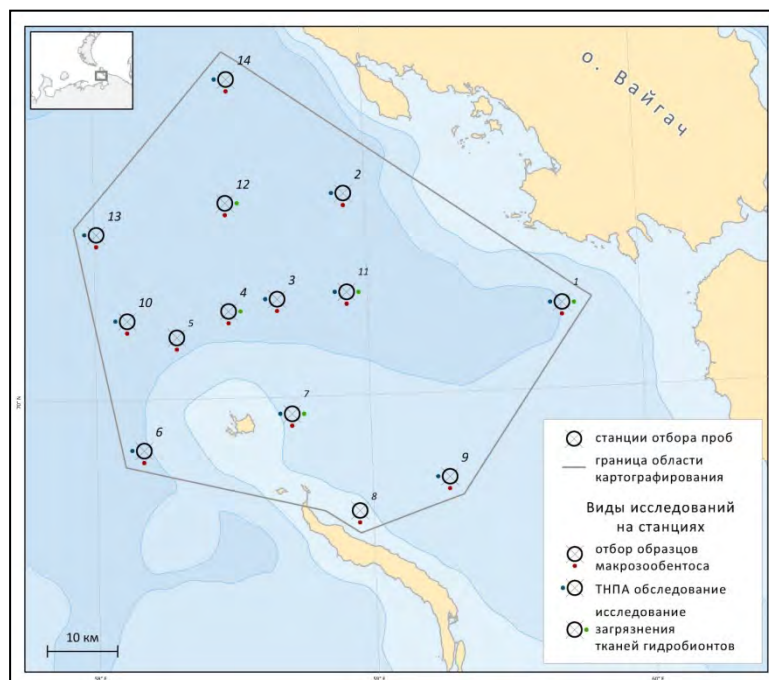


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб бентоса для изучения кормовой базы атлантического моржа в районе о. Долгий.

По численности в пробах преобладают полихеты - в среднем 76% от общей численности макрозообентоса. Наибольший вклад вносят массовые виды *Galathowenia oculata* (300 экз./м<sup>2</sup>), *Levinsenia gracilis* (210 экз./м<sup>2</sup>), *Maldane sarsi* (130 экз./м<sup>2</sup>) и *Chaetozone setosa* (71 экз./м<sup>2</sup>), характерные для илистых грунтов повсеместно в Белом и Баренцевом морях. Среди прочих таксонов наиболее многочисленны двустворчатые моллюски *Macoma calcarea* (41 экз./м<sup>2</sup>), *Nicacia montagui*, *Thyasira flexuosa*, *Leionucua belotii*; амфиподы *Protomedeia fasciata* (67 экз./м<sup>2</sup>) и кумовые раки *Diastylis sulcata* (47 экз./м<sup>2</sup>).

Средняя общая численность макрозообентоса составляет 1500±1100 экз./м<sup>2</sup> при большом разбросе от 300 до 2600 экз./м<sup>2</sup>.

Средняя биомасса макрозообентоса в исследованном районе 50±40 г/м<sup>2</sup> при минимуме 3 г/м<sup>2</sup> и максимуме 116 г/м<sup>2</sup>. Основу биомассы составляют двустворчатые моллюски (57), в основном *Macoma calcarea* (21%), *Nicania montagui* (15%), *Astarte borealis* (9%). Вторые по вкладу в общую биомассу полихеты, в первую очередь *Galathowenia oculata* (10%) и *Maldane sarsi* (3,5%).

В макромасштабе исследованный участок дна можно охарактеризовать как сообщество *Astartidae* + *Galathowenia oculata* на верхней границе биоценоза *Serripes groenlandicus*. В целом полигон ложится в область сообщества *Serripes*, выделяемого в работе Dahle, 1998. В центре полигона располагается пятно *Spiochaetopterus typicus* + *Astarte borealis*, которое лишь частично попало в наши сборы - на станциях 3 и 4, ближе всего расположенных к указанному месту, большое количество трубок *Sp. typicus*, хотя сами черви отмечены единично. На соседней станции 5 единственный раз за съемку встречена *A. borealis* (*Tridonta borealis*). Следует отметить, что в упомянутой работе точка отбора проб пришлась на



меньшие глубины (около 18 м), нежели наши соседние станции (26-29 м). Распределение грунтов в нашем материале соответствует карте, приведенной в работе Dahle. Большая часть полигона покрыта глинистым илом, с юга и с севера располагаются песчаные зоны. В западной части плотные пятна ракуши (рис. 2).

Наибольшую кормовую ценность для атлантического моржа на исследованной акватории представляют двустворчатые и крупные брюхоногие моллюски. Средняя биомасса кормового бентоса  $42 \text{ г/м}^2$ , таким образом, пищевые ресурсы моржа составляют 88% всей биомассы макрозообентоса на данном участке.

Комплекс сообществ с наибольшими биомассами напоминает по составу и количественным характеристикам переходную зону между характерным для Баренцева моря мелководным сообществом с преобладанием полихет и сообществом средних глубин с доминированием *Serripes gr oenlandicus* (Козловский, 2012). Первое сообщество характеризуется биомассой  $24 \text{ г/м}^2$ , что соответствует нашим станциям с преобладанием полихет. Сообщество *S. gr oenlandicus* обладает большей биомассой -  $70 \text{ г/м}^2$ , которая достигается наиболее глубоководными из станций с преобладанием Astartidae. Судя по большому количеству ракуши *S. gr oenlandicus* и *Ciliatocardium ciliatum* на видеозаписях, а также встречам этих моллюсков в пробах, чуть ниже полигона исследования действительно располагается скопление *S. groenlandicus*, представляющее интерес для крупных бентофагов, таких как атлантический морж.

Пищевые ресурсы распределяются по полигону неравномерно: участки глинистого ила с минимальной кормовой ценностью чередуются с плотными поселениями двустворчатых моллюсков, где может питаться морж. Наибольший запас биомассы бентоса приходится на глубины выше 25 м. Можно предположить, что наиболее крупные моллюски в исследуемом районе обитают на глубинах около 35 м, и эти горизонты могут оказаться наиболее привлекательными для моржа. Детальные исследования рациона атлантических моржей показали, что основой их рациона являются три вида двустворчатых моллюсков: *Mya truncata*, *Hiatella arctica* и *Serripes gr oenlandicus* (Born et al., 2003). На исследованном полигоне отмечается молодь *M. truncata*, экземпляров же *H. arctica* не обнаружено, что косвенно подтверждает предположение об исключительной ценности *S. gr oenlandicus* как кормового ресурса.

Исходя из площади исследованного полигона, которая приходится на участки илистого грунта (1300 кв. км) и средней биомассы кормового бентоса, кормовая база моржа на этом участке может быть оценена в 9-99 тыс. тонн.

Предполагалось (Семенова и др., 2012), что макрозообентос Печорского моря отличается высоким богатством и плотностью поселения кормовых видов моллюсков, что позволяет моржам формировать значительные (до 2000 особей и более) скопления. Однако и литературные, и наши данные говорят о весьма умеренной биомассе бентоса в диапазоне глубин 15 – 30 м, не превышающей ста грамм на квадратный метр.

Можно предположить, что основные кормовые запасы популяции моржей располагаются за его пределами, на глубинах более 30 м (*S. groenlandicus*) либо, напротив, в прибрежной зоне к югу от полигона, где располагаются мидиевые банки (Sukhotin et al., 2008; собств. данные).

Изучение кормовой базы популяций атлантических моржей в акватории Печорского моря между островами Вайгач и Долгий выполнялись на основании Договора № 2014-07-

08/1 от 08 июля 2015 года, между ООО «Всемирный фонд природы» и ООО «Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова» и гранта РФФИ 15-04-01870.

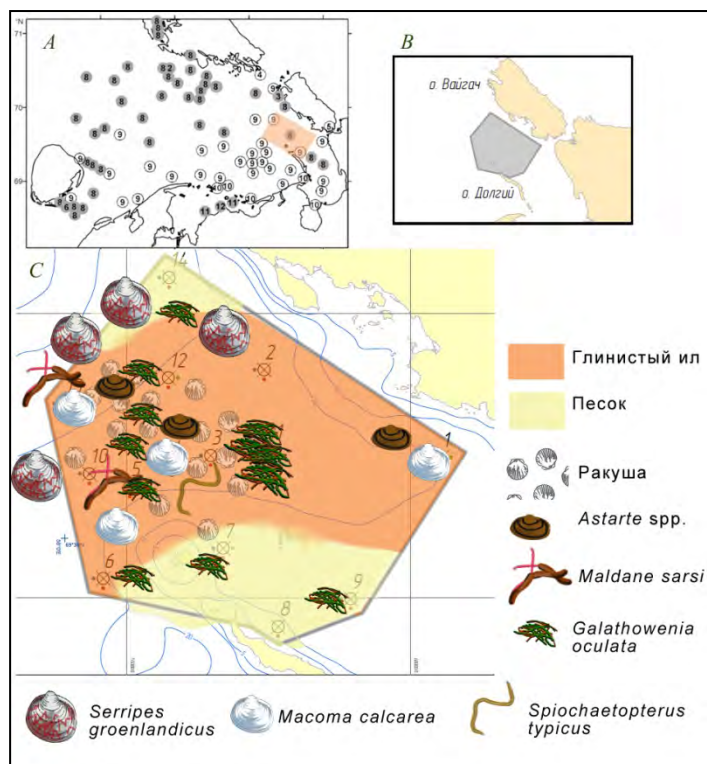


Рис. 2. Карта-схема распределения ключевых видов макрозообентоса.

А. Схема сообществ Печорского моря (Denisenko et. al, 2003). Сообщества с доминированием: 2 - *Ctenodiscus crispatus*, 4 - *Hiatella arctica* – *Chone duneri*, 5 - *Mytilus edulis*, 8 - *Spiochaetopterus typicus* – *Astarte borealis*, 9 - *Serripes groenlandicus*, 10 - *Ophelia limacina*, 11 - *Macoma balthica*, 12 - *Halicryptus spinulosus*. В. Схема расположения полигона. С. Распределение грунтов и сообществ макрозообентоса на полигоне по нашим данным и Dahle, 1998.

### Список литературы

1. Болтунов А.Н., Беликов С.Е., Горбунов Ю.А., Менис Д.Т., Семенова В.С. Атлантический морж юго-восточной части Баренцева моря и сопредельных районов: обзор современного состояния. М.: WWF России, 2010. — 29 с.
2. Зенкевич Л.А. Количественный учет донной фауны Печорского района Баренцева моря и Белого моря // Труды Плав. Мор. ин-та, 1927. – Т. 2. – № 4. - С. 3–64.
3. Козловский В.В. Макрозообентос верхнего шельфа юго-западной части Карского моря : автореферат дис. ... кандидата биологических наук : 03.02.10 [Место защиты: Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН] Москва, 2012. - 26 с.
4. Крюкова Н.В. Современное состояние группировок тихоокеанского моржа (*Odobenus rosmarus divergens*) на береговых лежбищах Чукотского полуострова: автореф. дисс... канд. биол. наук. / ФГУП " ВНИРО". — М., 2015 г. — 25 с.
5. Семенова В.С., Болтунов А.Н., Никифоров В.В., Светочев В.Н. Исследования атлантического моржа в юго-восточной части Баренцева моря в 2011-2012 гг. // Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных работ, том 2. —2012. — С. 228–234.
6. Семенова В. С., Болтунов А. Н., Никифоров В. В. Изучение и сохранение атлантического моржа в юго-восточной части Баренцева моря и сопредельных районах

Карского моря. Результаты исследований 2011–2014 гг. Мурманск, Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2015. — 82 с.

7. Соколов В.Е., Кондаков А.А., Зырянов С.В., Воронцов А.В., Хахин Г.В. Экология атлантического моржа. В кн.: Морж: образ вида. М. Наука, 2001. — С. 74–90

8. Чакилев М.В., Кочнев А. А. Численность и распределение тихоокеанского моржа (*Odobenus rosmarus divergens*) в районе мыса Сердце-Камень в 2009—2013 гг. // Известия ТИНРО: сб. науч. тр. - Владивосток, 2014. — Т. 179. — С. 103–112.

9. Born E.W. et al. Underwater observations of foraging free-living Atlantic walrus (*Odobenus rosmarus rosmarus*) and estimates of their food // Polar Biology, 2003. — V. 26. — Pp. 348–357.

10. Dahle S., Denisenko S.; Denisenko N., Cochrane, S.J., 1998. Benthic fauna in the Pechora Sea. Sarsia. — Vol. 83. — Pp. 183–210.

11. Denisenko S.G., Denisenko N.V., Lehtonen K.K., Andersin A.-B., Laine A.O., Macrozoobenthos of the Pechora Sea (SE Barents Sea): community structure and spatial distribution in relation to environmental conditions // Marine Ecology Progress Series. 2003. V. 258. Pp. 109–123.

12. Fox A.D., Fox G.F., Liaklev A., Gerhardsson N. Predation of flightless pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*) by Atlantic walrus (*Odobenus rosmarus rosmarus*) in southern Edgeoya, Svalbard // Polar Research, 2010. — V. 29. — Pp. 455–457.

13. Sukhotin A. A., Krasnov Y. V., Galaktionov K. V. Subtidal populations of the blue mussel *Mytilus edulis* as key determinants of waterfowl flocks in the southeastern Barents Sea // Polar biology. — 2008. — Vol. 31. — N 11. — Pp. 1357–1363.

**К вопросу о видовом разнообразии и текущем распределении границ ареалов правильных морских ежей в сублиторали Курильских островов.**

**Переладов Михаил Владимирович, Буяновский Алексей Ильич, Лабутин Алексей Вячеславович, Зеленина Дарья Александровна, Минеева Татьяна Владимировна**  
*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО», Москва)*

Правильные морские ежи играют важную роль в прибрежных экосистемах бореальных морей. В частности, благодаря им поддерживается баланс развития бурых водорослей на оптимальном уровне, что в свою очередь обеспечивает высокий воспроизводственный потенциал прибрежных биоценозов для рыб, ракообразных и прочих промысловых объектов, проводящих часть своего жизненного цикла на мелководьях.

Морские ежи – ценный объект промысла. В России наиболее интенсивный промысел ведётся на акватории Южных Курил, где ежегодно добывается порядка 6 тысяч тонн серого морского ежа (*Strongylocentrotus intermedius*). Только на этом участке запас оценивается в 120 тысяч тонн.

Между тем, у берегов Курил обитают ещё несколько видов правильных морских ежей. В частности, палевый морской ёж (*S. palidus*), зелёный морской ёж (*S. droebachiensis*), многоиглый морской ёж (*S. polyacanthus*), чёрный морской ёж (*Protocentrotus nudus*), сплюснутый морской ёж (*P. depressus*).

Номинально все перечисленные выше виды достаточно хорошо отличаются друг от друга, как по внешнему виду, так и по географической приуроченности к ряду абиотических факторов (температура воды, глубина, биотоп, прибойность). Однако границы их ареалов не стабильны во времени. Этому способствует высокая неоднородность гидрологических условий акватории в районе Курильских островов, где из-за сложной системы течений, формируются различные по своим характеристикам водные массы, которые в последние годы претерпевают существенные изменения в связи с общим изменением термического баланса на границе Охотского моря и Тихого Океана.

Учитывая все эти факторы, в 2015-2016 гг. были проведены гидробиологические съёмки, направленные на уточнение текущей картины распределения различных видов морских ежей. Исследования проводились на сублиторали Северных (о-ва Парамушир, Онекотан) и Южных (о-ва Кунашир, Итуруп и ряд о-вов Малой Курильской Гряды) участков Курильского архипелага. Гидробиологические съёмки проводились с использованием водолазного снаряжения, подводных видеокамер и необитаемого подводного аппарата РБ-600 (Рис.1). Учитывалась приуроченность морских ежей к определённым биотопам, их распределение по глубинам и размерный состав особей в выборках.

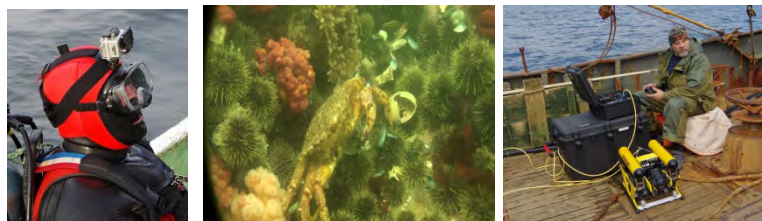


Рис. 1. Подводная видеокамера Go-Pro Hero3, закреплённая на водолазе, образец стоп-кадра видеосъёмки и подводный аппарат РБ-600.

Для выявления видовой принадлежности морских ежей традиционно используются такие признаки как окраска панциря, длина и толщина игл, строение педицилярий, количество пар амбулакальных пор. Однако не все из признаков, перечисленных выше, могут быть использованы при диагностическом описании видов. Многим морфологическим признакам свойственно межвидовое перекрытие, возрастная и географическая изменчивость в пределах одного вида [Бажин, Степанов, 2012].

В процессе обработки биологических проб были выделены морфологические признаки, дающие высокую степень уверенности о принадлежности исследуемого образца к тому или иному виду. К этим признакам мы отнесли – расположение амбулакальных каналов и соотношение высоты зуба к его ширине.

Для определения расположения амбулакальных каналов на оральной части панциря от перистоста до «экваториальной» части панциря удалялись все иголки и эпителий с одного из амбулакальных сегментов и производилось фотографирование очищенной части панциря (Рис.2)

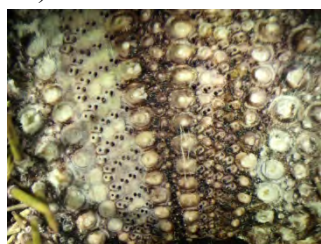


Рис. 2. Очищенный амбулакальный сегмент.

Извлечённые из Аристотелева фонаря зубы фотографировались под бинокулярным микроскопом OLYMPUS в двух плоскостях и с помощью программы ImageScore S производились измерения ширины зуба и высоты его кия (Рис. 3).

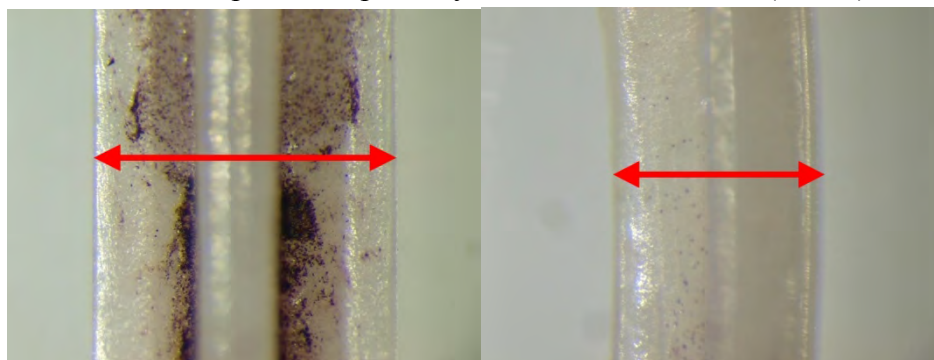


Рис. 3. Измерение ширины и высоты зуба.

Видовая принадлежность верифицировалась при помощи генетического анализа образцов ткани (амбулакальные карманы). Для амплификации использовались праймеры:

jgLCO1490

TGTAACAACGACGGCCAGTTNTCNACNAAYCAYAARGAYATTGG

jgHCO2198

CAGGAAACAGCTATGACTANACYTCNGGRTGNCCRAARAAYCA

В результате секвенирования была определена последовательность гена COI длиной 640 нуклеотидов. Для определения видовой принадлежности исследованных образцов, полученные последовательности сравнивали с референсными последовательностями из международной базы генетических данных Genebank (<http://ncbi.nlm.nih.gov/>).



Обработка полученных данных позволил сделать следующие выводы о современном видовом разнообразии и границах обитания правильных морских ежей на изученных акваториях:

На островах Северных Курил доминирующим видом является многоиглый морской ёж, второстепенным – зелёный морской ёж. Распределение этих видов зависит от структуры биотопов и гидродинамики. В целом картина распределения морских ежей на Северных Курилах не отличается от описаний, составленных несколько десятков лет назад.

На островах Южных Курил достоверно (по морфологическим и генетическим признакам) отмечены серый, чёрный и многоиглый морские ежи. На сублиторали островов Малой Курильской гряды в пробах доминировал серый морской ёж, периодически встречался чёрный морской ёж. У южной оконечности острова Кунашир на сублиторали также доминировал серый морской ёж, единично отмечены чёрный и сплюснутый морские ежи. На охотоморской стороне острова Итуруп в пробах доминировал многоиглый морской ёж, распределение которого существенно варьировало в зависимости от типа биотопа (Рис.4).

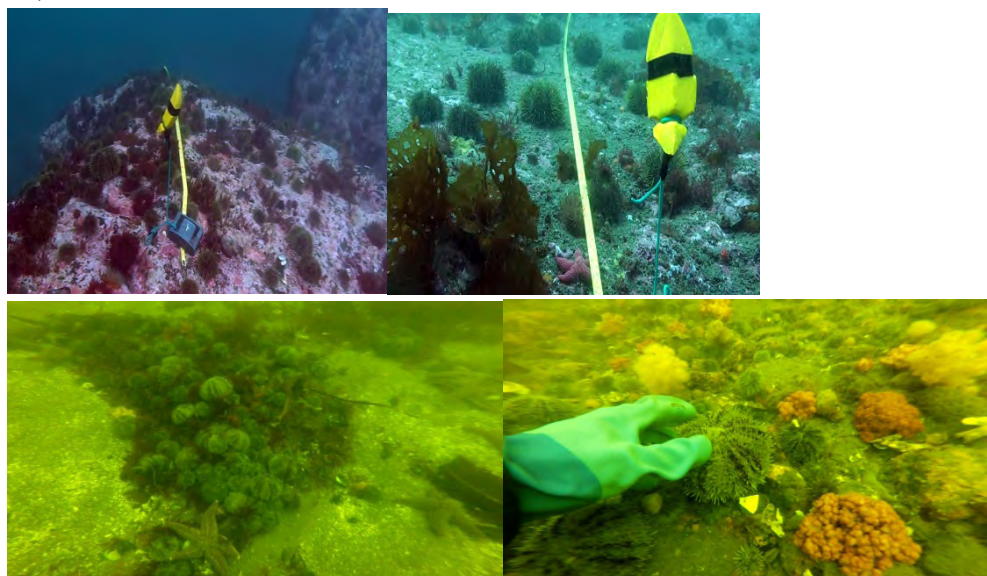


Рис. 4. Биотопы и особенности распределения многоиглого морского ежа в сублиторали острова Итуруп.

Достоверно судить о видовой принадлежности морских ежей, определённых как «сплюснутый» не представляется пока возможным, так как его генетические признаки не совпадают с имеющимися данными генетического банка (Рис. 5).



Рис. 5. Особи «сплюснутого» морского ежа и между ними чёрный морской ёж, собранные на сублиторали Кунаширского пролива.



Все цветовые и морфологические вариации морских ежей, собранных на юге острова Кунашир и на островах Малой Курильской гряды (кроме особей рода *Protocentrotus*) относятся к серому морскому ежу (Рис.6).



Рис. 6. Внешний вид и цветовая гамма выборок морских ежей: слева – особи серого морского ежа, собранные на сублиторали Малой Курильской гряды; справа – особи многоиглового морского ежа, собранные на сублиторали острова Итуруп

На сублиторали острова Итуруп достоверно отмечены многоиглоый и зелёный морские ежи, доля серого морского ежа в пробах оказалась незначительна, а доля многоиглового достигала 87% при существенных различиях в размерах (Рис. 6 и 7).

Нахождение у берегов острова Итуруп зелёного морского ежа существенно расширяет границу его ареала, так как ранее самая южная находка этого вида была сделана в бухте Броутона на острове Симушир [Бажин, Степанов, 2012].

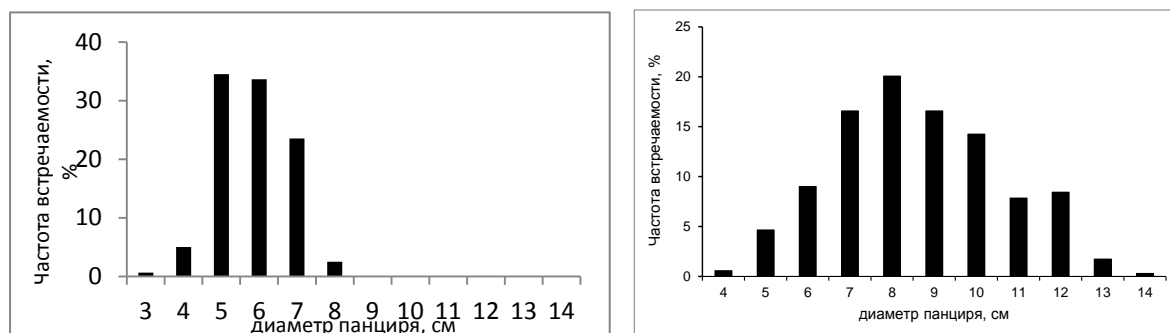


Рис. 7. Размерные ряды выборок морских ежей: слева – особи серого морского ежа, собранные на сублиторали Малой Курильской гряды (выборка 475 экз.); справа – особи многоиглового морского ежа, собранные на сублиторали острова Итуруп (выборка 344 экз.).

Отмечено также увеличение встречаемости чёрного морского ежа на сублиторали островов Малой Курильской гряды, где ранее он отмечался единично.

Отмеченные изменения видового состава и границ ареалов морских ежей у берегов Курил связаны, по всей видимости, с происходящими в регионе климатическими изменениями.

## **Новые данные по итогам мониторинга пяти отделяющихся от Белого моря водоемов.**

**Ильченко Стелла Алексеевна<sup>1</sup>, Гантман Юлиан Викторович<sup>1</sup>,  
Кручинин Игорь Викторович<sup>1</sup>, Павлов Василий Игоревич<sup>1</sup>,  
Косенков Алексей Викторович<sup>1</sup>, Воронов Дмитрий Анатольевич<sup>2,3</sup>,  
Краснова Елена Дмитриевна<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> - *Физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Россия)*

<sup>2</sup> - *Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН (Москва, Россия)*

<sup>3</sup> - *Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Россия)*

<sup>4</sup> - *Биологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Россия)*

Отделяющиеся от Белого моря водоемы в окрестностях ББС МГУ им. М.В. Ломоносова представляют собой интересную модель формирования экосистемы в условиях возрастания влияния суши на морской водоем. В качестве модельных объектов на различных стадиях отделения от моря выбраны пять озер: от морского залива – лагуны на Зеленом Мысе до визуально пресного озера Нижнего Ершовского с небольшими солоноводными ямами на дне. Ежегодно летом, зимой и весной ведется мониторинг гидрологических, гидробиологических и гидрохимических характеристик водоемов. Летом 2016 г. зарегистрировано исчезновение или сокращение срока вегетации миксотрофных жгутиконосцев (*Rhodomonas* в лагуне на Зеленом мысе и в оз. Кисло-Сладком и *Euglena* в оз. Трехцветном), а также подъем редокс-границы и распространение сероводорода вверх от лета к осени (лагуна на Зеленом мысе, оз. Кисло-Сладкое). Совпадение этих событий дает основания полагать, что слой миксотрофных организмов служит биологическим фильтром и каким-то образом ограничивает распространение сероводорода вверх.

### **New data of the monitoring of five lakes separated from the White Sea**

**Ichenko Stalla A.<sup>1</sup>, Gantman Yulian V.<sup>1</sup>, Krutchinin Igor V.<sup>1</sup>, Pavlov Vassily I.<sup>1</sup>,  
Kosenkov Alexey V.<sup>1</sup>, Voronos Dmitry A.<sup>2,3</sup>, Krasnova Elena D.<sup>4</sup>**

The lakes separated from the White Sea are an interesting model of the ecosystem in terms of increasing the impact of land on the water body of marine origin. There are five lakes at various stages of separation from the sea: on the one side is lagoon on the Cape Zeleny still connected with the sea, and on the other side visually freshwater lake Lower Ershovskoe with small saltwater pits on the bottom. Hydrological, hydrobiological and hydrochemical characteristics of the lakes are monitored each summer, winter and spring. In the summer 2016 the disappearance or reduction of the vegetation period of mixotrophic flagellates (*Rhodomonas*) in the lagoon at the Cape Zeleny and in the lake Kislo-Sladkoe reported. Similarly green flagellates *Euglena* disappeared from the lake Trekhztvetnoe. Rise of the redox boundary and upward spread of hydrogen sulfide was registered. The coincidence of these events give reason to suppose that mixotrophic layer serves as a biological filter and somehow limits the spread of hydrogen sulfide upwards.

На Беломорской биостанции МГУ им. М.В. Ломоносова с 2010 г. проводится мониторинг пяти водоемов, частично отделенных от моря. Они отделились от моря в разное время и находятся на разных стадиях изоляции. Гидрологическая структура этих водоемов отличается от структуры морского залива, какими они были в прошлом, и от структуры пресноводного водоема, каковыми им предстоит стать в будущем. На промежуточных стадиях отделения водоемы обретают черты меромиктических. Они состоят из нескольких слоев, которые не перемешиваются друг с другом долгое время. В меромиктических водоемах морского происхождения выделяют нижний слой из морской воды, которых заполняет донные углубления, и поверхностный пресный либо солоноватый. Минерализация каждого из них, а также положение границы между ними – пикноклина – зависит от баланса между поступлением соленых вод из моря и величины пресного стока, который собирается в озере с его водосборного бассейна. Сложившаяся стратификация устойчива и на протяжении прошедших шести лет испытывала лишь незначительные изменения. Однако даже малые изменения сигнализировали о серьезных гидрологических событиях. Так, в 2012 г. во всех водоемах были зарегистрированы последствия заброса большого количества свежей морской воды; летом 2015 г. в результате экстремально большого количества осадков в одном из водоемов (оз. Ершовском) исчез придонный солёный слой воды. В лагуне на Зеленом мысе зарегистрировано 4 случая резкого увеличения солености придонного слоя к концу зимы, что свидетельствует о предшествовавших сильных морозах и усилении процесса ледового вымораживания рассола. Увеличение амплитуды морских приливов, сильные нагоны и повышение уровня моря сдвигают баланс в морскую сторону. Снижение частоты забросов морской воды, уменьшение количества поступающей воды, рост количества осадков по сравнению со средним уровнем приводят к сдвигу баланса в пресноводную сторону. По этой причине прибрежные полуизолированные водоемы могут служить чуткими индикаторами климатических изменений и ценными объектами для долговременного мониторинга.

В июле-августе 2016 г. были обследованы пять водоемов на разных стадиях изоляции от Кандалакшского залива Белого моря: лагуна на Зеленом мысе, озера Кисло-Сладкое, Еловое, Нижнее Ершовское и Трехцветное. В каждом водоеме над самой глубокой точкой были выполнены измерения температуры, солености, содержания растворенного кислорода, рН, окислительно-восстановительного потенциала и освещенности на разной глубине и по этим параметрам построены вертикальные профили. Кроме того, на разных глубинах были отобраны пробы воды для исследования микроорганизмов.

В каждом из изученных водоемов были выявлены изменения гидрологической и экологической системы по сравнению с их состоянием в предыдущие годы.

В лагуне на Зеленом мысе летом 2016 г. мы не увидели обычного для этого водоема обилия и видового разнообразия динофитовых водорослей. Динофлагелляты *Dinophysis*, которые в предыдущем году в массе развились в среднем соленом аэробном слое, летом 2016 г. были немногочисленны. Необычно рано прекратил существование розовый слой, образованный массовым развитием криптофитовых жгутиконосцев *Rhodomonas*, характерный для редокс-зоны этого водоема. В предыдущие годы этот слой существовал в водоеме все лето и сохранялся, как минимум, до конца сентября. В 2016 г. 12 августа слой с большим количеством родомонасов был густо-розовым и располагался на глубине 4,6–4,8 м в редокс-зоне, граница аэробной и анаэробной зон в тот момент находилась между 4,7 и 4,8 м. 18 августа редокс-граница располагалась там же, но цвет воды на этой глубине стал бледным, там были отмечены лишь единичные клетки *Rhodomonas*, вместо них в массе

развились мелкие кокки-цианобактерии. К 30 августа цвет воды на этой глубине сменился на зеленоватый, по-видимому из-за цианобактерий. Еще через неделю граница распространения сероводорода поднялась на 30 см вверх, а в 10 см выше и ниже нее наблюдалось массовое развитие мелких кокков-цианобактерий и мелких зеленых жгутиконосцев (возможно *Micromonas*). Причины исчезновения криптофитовых водорослей нам неизвестны, а все последующие изменения в составе фитопланктона по-видимому отражают закономерную смену доминирующих видов.

В оз. Кисло-Сладком, где криптофитовые жгутиконосцы *Rhodomonas* обычно тоже образуют розовый слой, летом 2016 г. они не были обнаружены вовсе. В области хемоклина на глубине 3,6–3,9 м существовал слой желто-розоватой окраски с мелкими бактериальными клетками, в том числе – цианобактериями и мелкими жгутиконосцами (предположительно *Micromonas*). Положение редокс-границы было необычно низким. В июле эта граница располагалась между 3,8 и 3,9 м, в августе она поднялась к 3,6–3,7 м, а в сентябре – к 2,8–2,9 м.

В оз. Еловом в конце июля 2016 г. соленость придонной воды оказалась на 1 ед. меньше, чем в предыдущие годы при том, что в целом характер стратификации остался прежним. Граница распространения сероводорода находилась на обычной глубине 2,8–2,9 м и маркировалась слоем бурого цвета из коричневых серобактерий, в котором, как и в прежние годы, было очень много инфузорий.

В оз. Нижнем Ершовском, где в 2015 г. из-за большого количества осадков пресная вода полностью размывала соленый придонный слой, в результате чего озеро стало полностью пресным, в 2016 г. в донном углублении возле порога, отделяющего озеро от моря, снова появилась морская вода и восстановился зеленый слой из серобактерий. В августе 2016 г. пресный слой имел толщину 1 м, начиная с 1,5 м вода была солоноватой, и возле дна на глубине 2,4 м соленость достигала 11,2‰.

В оз. Трехцветном вертикальная структура практически не отличалась от того, что мы наблюдали в предыдущие годы. Граница аэробной и анаэробной зон располагалась между 1,9 и 2,0 м, как обычно, ее маркировал густо-зеленый слой с зелеными серными бактериями *Chlorobium*. В отличие от предыдущих лет, когда его толщина достигала 10–20 см, в 2016 г. зеленый слой был очень тонок – всего 5 см. Серьезное изменение произошло в составе фитопланктона в слое, прилегающем к хемоклину сверху: в нем не были обнаружены жгутиконосцы *Euglena*, которые постоянно обитали здесь на протяжении трех предыдущих лет.

В изменениях, отмеченных летом 2016 г., можно отметить общие черты: 1) исчезновение или сокращение срока вегетации миксотрофных жгутиконосцев (*Rhodomonas* в лагуне на Зеленом мысе и в оз. Кисло-Сладком и *Euglena* в оз. Трехцветном), 2) подъем редокс-границы и распространение сероводорода вверх от лета к осени (лагуна на Зеленом мысе, оз. Кисло-Сладкое). Совпадение этих событий дает основания полагать, что слой миксотрофных организмов служит биологическим фильтром и каким-то образом ограничивает распространение сероводорода вверх.

## Эпилитные диатомовые таксоцены литорали западного шпицбергена в период полярной ночи.

**Сапожников Филипп Вячеславович<sup>1</sup>, Калинина Ольга Юрьевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Москва

<sup>2</sup>Лаборатория возобновляемых источников энергии Географического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

В период с середины ноября по начало декабря 2015 года, в ходе исследовательского рейса НИС «Дальние Зеленцы», во время высадок на западное побережье архипелага Шпицберген, был изучен литоральный микрофитобентос. В частности, микрофитный эпилитон с поверхности камней средней литорали отбирали в районах посёлков Баренцбург (залив Гренфьорд) и Лонгийр (залив Адвентфьорд). Были выбраны два участка литоральной зоны, сходные по макроморфологии и размерам камней. При этом в пос. Лонгийр пробы были взяты в небольшой каменистой бухте, примерно в 200 м от порта, а в пос. Баренцбург – на участке биостанции ММБИ. Весь материал был микроскопирован и фотодокументирован в лаборатории судна, в живом виде, после чего камни с оставшимся микроэпилитоном возвращали обратно на литораль.

Микроскопирование с выявлением видового состава и соотношения микрофитов по обилию показало, что в обоих изученных сообществах преобладали диатомеи: как по составу, так и в количественном отношении. Отметим при этом, что материал отбирали в условиях полярной ночи, когда выбранные для изучения участки литорали фактически не были освещены ни Солнцем, ни искусственно. Несмотря на отсутствие освещения, диатомеи, в массе обитавшие на поверхности камней, имели крупные, характерно окрашенные хроматофоры.

«Костяк» сообществ (по разнообразию и обилию) был образован диатомеями многих видов из различных адаптивных групп (в основном навикулоидами, амфороидами, ахнантоидами, кокконеоидами и гомфонемоидами).

В сообществах на побережье пос. Баренцбург количественно преобладали (в порядке убывания) навикулоиды, амфороиды и ахнантоиды, а в миноре были представлены крупные ницшиоиды. Массовыми здесь были крупные навикулоиды *Navicula perotii*, *N. normaloides* и мелкий *Navicula perminuta*. Часто встречались подвижные *Navicula s tachurae*, *N. pseudacceptata*, *N. v imineoides*, *N. e idrigiana*, *N. dumontiae*, *N. abunda*, *N. consontanea*, *N. jeffreysi*, *Nitzschia pellucida* и *N. calciola*, а также малоподвижная *Amphora lunata* и колониальный *Achnanthes septata* var. *incurvata*, строивший короткоколентовидные колонии, прикреплявшиеся к субстрату толстым полимерным тяжом. В числе часто встречающихся также были *Navicula rusticensis* и *Parlibellus delognei* – колониальные виды, чьи клетки располагались рядами внутри полимерных трубок, оплетавших поверхность камня по тонким трещинам. В статусе редких были отмечены подвижные *Navicula lusoria*, *N. recens*, *N. libonensis*, *N. tropicoidea*, *N. directa*, *N. flagellifera* и *Nitzschia sigma*, а также прикреплённые *Cocconeis costata*, *C. cf. stauroneiformis* (мелкая морфа), *C. speciosa* и *Rhoicosphenia linearis*, а также трубчатоколониальный *Parlibellus cavus*.

В свою очередь, в аналогичном биотопе на побережье пос. Лонгийр преобладали амфороиды, кокконеоиды, ахнантоиды и мелкие гомфонемоиды, а навикулоиды и мелкие ницшиоиды были минорной группой. В числе массовых видов здесь были малоподвижные, ведущие полуприкреплённый образ жизни *Amphora tomiacae*, *A. malectractata* var. *constricta* и

прикреплённые *Cocconeis granulifera*, *C. costata*, *C. stauroneiformis* и *Gomphonemopsis littoralis*. Чисто встречались крупные *Halamphora eunotia* и *H. lunata*, мелкие прикреплённые *Cocconeis neothumensis*, *Planothidium jan-marcinii*, *Planothidium* aff. *mathurinense* и полуприкреплённая *Amicula speculum*. В статусе редких были *Fallacia litoricola*, *Navicula directa*, *N. abunda*, а также мелкая подвижная *Nitzschia valdestriata*.

Если в первом случае таксоцены были организованы подвижными и, в меньшей степени, малоподвижными и полуприкреплёнными формами диатомей, то во втором основная организующая роль принадлежала как раз формам, ведущим малоподвижный и полуприкреплённый образ жизни при незначительном участии высоко мобильных видов.

Исследования микроэпилитона каменистой литорали местообитаний Западного Шпицбергена выполнены впервые.



## **Новые возможности анализа истории Каспия по переотложенным пресноводным комплексам (диатомовый анализ).**

**Разумовский Лев Владимирович<sup>1</sup>, Пирумова Людмила Григорьевна<sup>2</sup>,  
Малашенков Борис Михайлович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *ИВП РАН,* <sup>2</sup> *МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

Исходным материалом послужили образцы из двух колонок (GS–19 и GS–04), отобранных на акватории Каспийского бассейна (Куприн, Пирумова, 2002).

В работе был применен метод графического анализа структуры диатомовых комплексов (Разумовский, Моисеенко, 2009). При графическом методе анализа, для каждого комплекса определяется относительная численность всех идентифицированных таксонов видового и более низких рангов (далее в тексте – таксонов). При построении гистограмм (графиков) по оси абсцисс откладывается число идентифицированных таксонов, по оси ординат – относительная численность, присущая данному таксону в анализируемом комплексе. Таксоны ранжируются по убыванию показателя относительной численности.

Опыт предыдущих исследований, в том числе морских осадков, позволил сделать выводы о двух формах переотложения пресноводных комплексов. В первом случае, переотложение вызвано плоскостным смывом с обрамляющих территорий. В этом случае створки, принадлежавшие пресноводным диатомовым водорослям, сортируются по размерности, как некий литологический репер, обозначающий резкую смену гидрологической обстановки. График распределения таксономических пропорций приобретает при этом линейные, хорошо-распознаваемые, очертания (Разумовский, 2004).

Во втором случае, существует некая инвариантность конечного результата, который определяется дальностью переноса диатомей от места их прижизненного обитания. В этом случае нелинейный, прижизненный характер распределения может быть сохранен.

На одном из этапов графического анализа, были построены гистограммы только для диатомовых водорослей, преимущественно распространенных в пресных водоемах. Поскольку динамика изменения процентных пропорций, по разрезу колонки GS–19, у пресноводных и пресноводно–солонатоводных таксонов, имела высокий уровень корреляции (0.824), эти две экологические группы были объединены. При построении гистограмм для этой, объединенной группы, численные пропорции, рассчитанные по всему проанализированному комплексу (с учетом морской и солонатоводно–морской составляющей) были сохранены. Это было сделано с целью наглядности, при зрительном сопоставлении полученных гистограмм.

Для диатомовых комплексов из колонки GS–19 были получены гистограммы, которые можно разделить на четыре группы. В первой группе, ранжирование по относительной численности таксонов практически невозможно, так как все они имеют очень близкую, незначительную численность (140–177; 221–252; 377–420 см) (рис.1). Во второй группе таксоны так же очень трудно ранжировать, поскольку они имеют очень близкую относительную численность, но численность первого из таксонов (по порядку ранжирования) имеет значимую процентную долю (97–100; 200–202; 295–352 см) (рис.1). В интервале 835–851 см, гистограмма распределения таксономических пропорций имеет линейные очертания (рис.1). В четвертую группу входят комплексы из интервала: 498–705 см. Гистограммы имеют нелинейные, экспоненциальные очертания (рис.1).

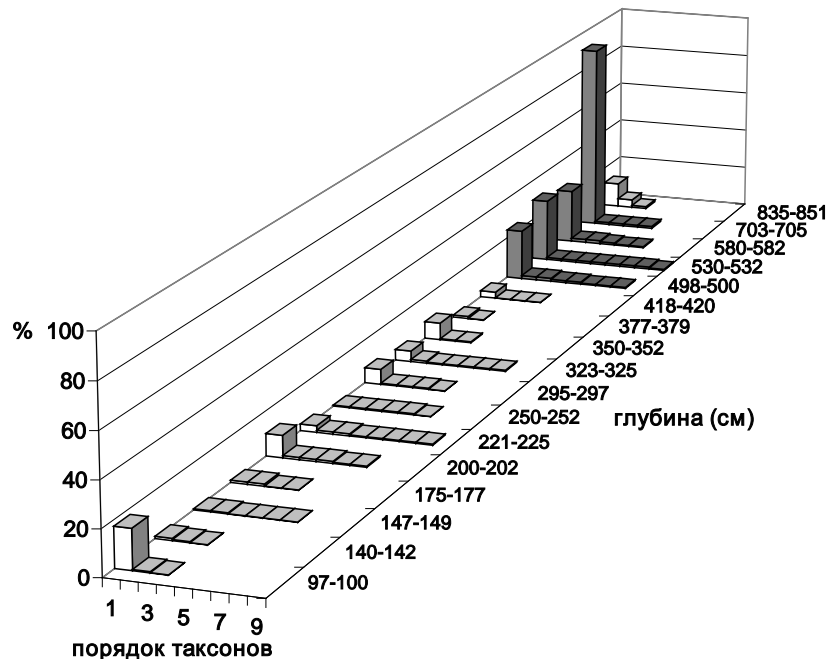


Рис.1. Процентные пропорции пресноводных и пресноводно-солонатоводных таксонов в диатомовых комплексах из колонки GS-19. Серым цветом обозначены гистограммы с нелинейным распределением таксономических пропорций (верхнехвалынский горизонт).

Для диатомовых комплексов из колонки GS-04 были получены гистограммы, которые можно разделить на три группы. В интервале 0–34 см таксономическая структура пресноводных комплексов аналогична второй группе из колонки GS-19: все таксоны имеют одинаковую относительную численность за исключением первого таксона (рис.2).

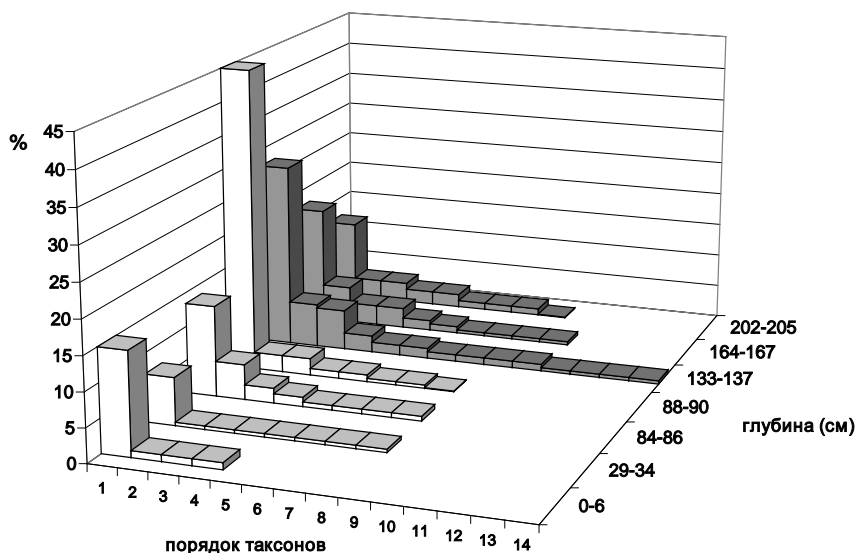


Рис.2. Процентные пропорции пресноводных и пресноводно-солонатоводных таксонов в диатомовых комплексах из колонки GS-04. Серым цветом обозначены гистограммы с нелинейным распределением таксономических пропорций (верхнехвалынский горизонт).

Во вторую группу входят комплексы из интервала 84–90 см. Графики, построенные для этих комплексов, имеют нелинейные очертания, вогнутой конфигурации (за счет доминирования первого по ранжированию таксона). Общая численность таксонов в группе невелика (рис. 2). Третья группа объединяет комплексы из интервала 137–205 см. Построенные графики имеют хорошо выраженные нелинейные, пропорциональные очертания, вогнутой формы, сходные с экспоненциальным типом распределения (рис. 2).

Таким образом, в разрезах обеих колонок есть интервал, где графики, построенные для переотложенных комплексов, имеют нелинейные очертания. Более того, в основном, их присутствие в разрезах имеет элемент синхронности и приходится на верхнехвалынское время.

Чтобы детализировать картину происшедших событий, только для чисто-пресноводных таксонов были отдельно построены гистограммы. Полученные результаты оказались достаточно информативны. В колонке GS–19 только в одном интервале (703–705 см) чисто-пресноводные формы образуют график нелинейных очертаний. В остальных интервалах переотложенные пресноводные комплексы малочисленны и их таксономическое ранжирование по относительной численности не имеет смысла (рис.3).

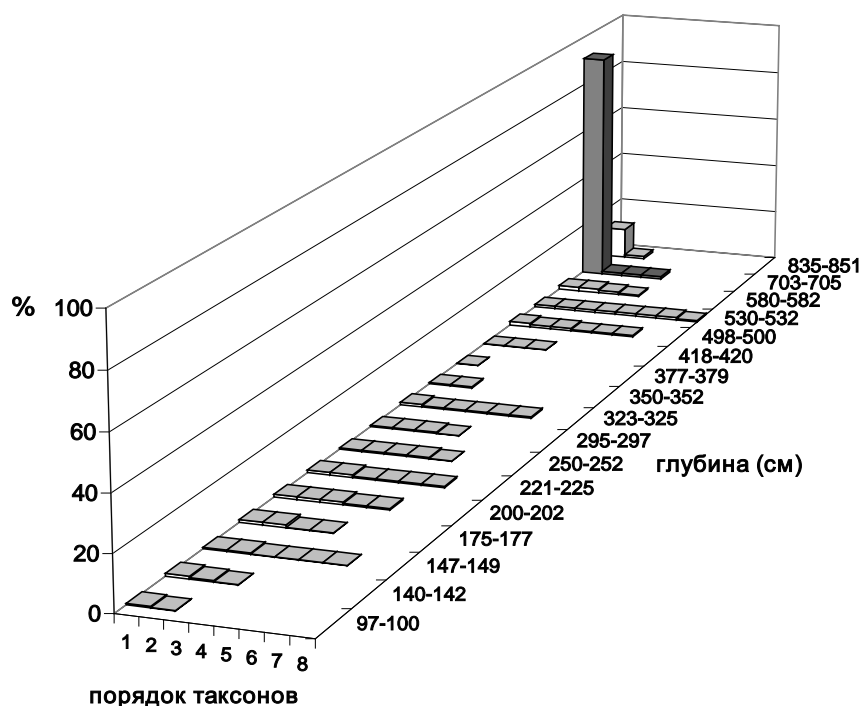


Рис.3. Процентные пропорции только пресноводных таксонов в диатомовых комплексах из колонки GS–19. Серым цветом обозначена гистограмма с нелинейным распределением таксономических пропорций (верхнехвалынский горизонт).

Аналогичные построения для диатомовых комплексов из колонки GS–04, дали совершенно иной, но не менее значимый результат. Такого кардинального изменения очертаний гистограмм, которое наблюдалось при анализе чисто-пресноводных комплексов из колонки GS–19, не произошло. Гистограммы вновь образовали три классификационные группы (рис.4). В первой из них, гистограммы имеют выровненные очертания, а таксономические пропорции ранжировать невозможно (0–34 см). Во вторую группу входят комплексы из интервала 84–90 см. Для них получены гистограммы линейных очертаний, что наиболее типично для переотложенных комплексов. Гистограммы из третьей группы

(интервал 133–205 см) не претерпели заметных изменений. Они сохранили нелинейные и достаточно пропорциональные очертания вогнутой конфигурации (рис.4).

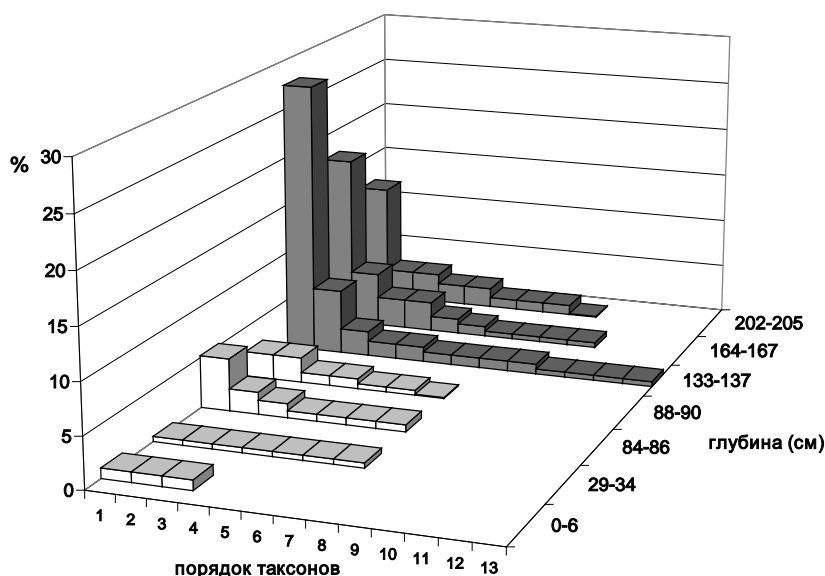


Рис.4. Процентные пропорции только пресноводных таксонов в диатомовых комплексах из колонки GS–04. Серым цветом обозначены гистограммы с нелинейным распределением таксономических пропорций (верхнехвалынский горизонт).

На основе проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1. Очертания гистограмм соотношения таксономических пропорций в переотложенных пресноводных комплексах диатомовых водорослей могут иметь линейные и нелинейные очертания.

2. В морских отложениях это зависит от расстояния, на которое эти комплексы переносятся и захораниваются. Сохранение нелинейных соотношений таксономических пропорций в переотложенных пресноводных комплексах возможно, только если расстояние от места их прижизненного распространения до зоны захоронения незначительно.

3. Увеличение относительной и абсолютной численности пресноводных таксонов в осадках нельзя однозначно трактовать, как признак повышения уровня Каспия. Вероятно, в верхнехвалынское время акватории Каспия происходили более значительные события, чем просто колебание уровня воды в границах существующего бассейна.

### Список литературы

Куприн П.Н., Пирумова Л.Г. Синхронные изменения комплексов диатомей и гидрологических условий в палеобассейнах Среднего и Южного Каспия // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 6. С.658–675.

Разумовский Л.В. Оценка качества вод на основе анализа структуры диатомовых комплексов // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 6. С.742–750.

Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Доклады академии наук. Общая биология. Т. 429. №3. 2009. С. 274–277.

## **Состояние биологических сообществ в северной части месторождения им. Ю. Корчагина.**

**Умербаева Роза Ивановна<sup>1</sup>, Курапов Алексей Александрович<sup>1</sup>,  
Колмыков Евгений Валерьевич<sup>2</sup>, Курманбаева Аделя Руслановна<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Каспийский филиал ФГБУ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,

<sup>2</sup>ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»,

<sup>3</sup>ФГОУ ВПО «Астраханский строительный институт»

Планктонные сообщества играют важную роль в функционировании водоемов. От их состава и количественных показателей зависит развитие других трофических уровней в водных экосистемах и их биологическая продуктивность. В данной работе дана оценка состояния планктонных микроорганизмов, водорослей и беспозвоночных на акватории Северного Каспия в районе месторождения им. Ю. Корчагина, введенном в эксплуатацию в апреле 2010 года. Материалом для написания данной работы послужили пробы, отобранные в северной части месторождения в первые три года его эксплуатации (2010 - 2012 гг.).

### **Бактериопланктон.**

В северной части месторождения им. Ю. Корчагина концентрации микроорганизмов варьировали в широком диапазоне величин – от 0,21 до 1,5 млн. кл/мл и от 0,17 до 0,74 мг/л. Средние показатели общей численности и биомассы бактериопланктона на данной акватории по годам изменялись незначительно. Наиболее интенсивно бактериопланктон развивался летом. В этот период концентрации бактерий в воде в среднем в 1,3 раза были выше осенних.

### **Фитопланктон.**

В обследованном районе фитопланктон был представлен всеми экологическими группами водорослей. В 2010 – 2012 гг. было обнаружено 145 видов, разновидностей и форм планктонных водорослей. Ведущее место по числу видов принадлежало диатомовым, синезеленым и зеленым водорослям (соответственно 41, 30 и 17 % от общего числа видов). Фитопланктон был представлен всеми экологическими группами водорослей. Наибольшее видовое разнообразие отмечалось в солоноватоводно–пресноводном и пресноводном комплексах. Видовой состав фитопланктона летом был богаче по сравнению с осенью в среднем в 1,2 раза. От лета к осени сократилось разнообразие синезеленых и зеленых водорослей в 1,3 и 1,5 раза соответственно, количество таксонов из остальных отделов фитопланктона находилось на одном уровне.

Уровень количественных показателей фитопланктона зависел от интенсивности развития диатомовых, зеленых и синезеленых водорослей. Диатомовые и синезеленые водоросли равнозначно составляли основу численности фитопланктона как летом (41 и 43 % соответственно), так и осенью (39 и 40 %). 66 % биомассы фитопланктона летом и 75 % – осенью составляли синезеленые, субдоминантами по биомассе были диатомовые водоросли, составлявшие 19 и 20 % общей биомассы фитопланктона соответственно.

В количественном отношении из сине-зеленых водорослей массовым развитием выделялась *Oscillatoria sp.*, диатомовых – *Rhizosolenia calcar-avis*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria capucina*, *Melosira granulata*, виды рода *Chaetoceros*. Осенью также благоприятные условия сложились для развития *Microcystis aeruginosa*, *Merismopedia punctata*, *Oscillatoria*

*geminata*, *A. nabaena aphanis zomenoides*, *A. nabaenopsis r. aciborskii*, *A. nabaena abnormis*, значительно дополнявших численность синезеленых водорослей.

Вегетация остальных групп фитопланктона проходила на более низком уровне. Количественные показатели зеленых водорослей определяли *Binuclearia lauterbornii*, *Ankistrodesmus pseudomirabilis* v. s. *piralis*., *Mougeotia* s. p., пиррофитовых – *Prorocentrum scutellum*, *Peridinium latum* v. *halophilum* и виды рода *Exuviaella*, эвгленовых – *Euglena acus*, *Trachelomonas* sp., *Trachelomonas verrucosa*.

Развитие фитопланктона в разные сезоны наблюдений было неравнозначным, но в целом наблюдалась тенденция роста численности и биомассы фитопланктона от лета к осени – в среднем в 4 и 1,6 раза соответственно. Следует отметить, что во всех отделах количество водорослей осенью превышали летние концентрации. Однако, учитывая небольшую роль пиррофитовых, зеленых и эвгленовых водорослей, рост их биомассы более чем в 2 раза не оказал существенного влияния на общие показатели фитопланктона. В то же время доминанты – синезеленые и диатомовые водоросли увеличили свою биомассу в среднем в 1,5 раза.

Следует отметить, что и численность всех групп водорослей также возросла, но наиболее ярко это проявилось у синезеленых водорослей (с преобладанием *Oscillatoria* s. p.), численность которых от лета к осени увеличилась в среднем в 4,6 раза.

Анализ изменений количественных показателей развития фитопланктона на обследованной акватории за 3 анализируемых года показал, что количественное развитие фитопланктона в данном районе определялось интенсивностью вегетирования синезеленой осциллятории и диатомовой рисосолении. Отмеченная тенденция роста численности и биомассы к осени, наблюдалась не всегда. Так, в 2012 г. отмечено снижение биомассы фитопланктона в среднем в 1,6 раза, главным образом за счет снижения интенсивности развития *R. calcar-avis*.

**Зоопланктон.** Зоопланктон в районе исследований был представлен всеми группами планктонных животных. В разные сезоны 2010 – 2012 гг. зоопланктон насчитывал от 7 до 28 вида и форм планктеров. Наибольшее видовое разнообразие отмечалось в составе ветвистоусых (*Cladocera*), веслоногих (*Copepoda*) ракообразных и коловраток (*Rotatoria*). Остальные группы были представлены по 1 виду.

Количественные показатели зоопланктона формировали главным образом веслоногие ракообразные. Данная группа планктонных беспозвоночных составляла в среднем за анализируемый период 62,6 и 84,2 % общей численности зоопланктона летом и осенью соответственно. К тому же веслоногие образовывали основу биомассы зоопланктона как летом (70,9 % общей биомассы зоопланктона), так и осенью (95,4 %). Основу веслоногих формировала главным образом *Acartia tonsa*, которая в составе планктона была представлена всеми возрастными группами, от науплиальных стадий до половозрелых особей.

Следующей группой, имеющей важное значение, являются коловратки. На их долю приходилось летом и осенью 20,1 и 12,8 % численности зоопланктона соответственно. Биомасса же данной группы организмов была невысокой и составляла в среднем 3 % общей биомассы зоопланктона. В группе коловраток доминанты – *Keratella tropica* и виды родов *Brachionus* и *Synchaeta* имели в основном незначительные показатели.

Численность личинок моллюсков была сопоставима с таковой коловраток, иногда превосходила, как например, летом 2011 г. – в 1,8 раза. Что касается биомассы личинок моллюсков, то она была выше, чем у коловраток в летний период в среднем в 4,4 раза, а



осенью – меньше в 2,5 раза. Это связано с биологическими особенностями моллюсков, личинки которых встречаются преимущественно в первую половину вегетационного сезона.

Ветвистоусые имели значение в основном летом, составляя 2,4 % общей численности и 8,9 % биомассы зоопланктона. Из кладоцер в 2010 г. эпизодически встречался рачок *Podonevadne trigona*, в 2011 г. – *Evadne anonyx* и *Podonevadne camptonyx*, в 2012 г. – *Pleopis polyphemoides* и *Evadne anonyx*.

Численность других групп беспозвоночных была на низком уровне, как и их биомасса. Среди них наиболее заметными были личинки донных беспозвоночных *Balanus* с преобладанием науплиусов.

Помимо перечисленных групп организмов в зоопланктоне встречались личинки *Hediste* и икра рыб. Из простейших были отмечены солоноватоводные организмы подкласса *Foraminifera*. Желетельный планктон характеризовался присутствием двух форм: гидроидной медузой и гребневиком, численность последнего увеличивалась от лета к осени.

В районе исследований количество зоопланктона колебалась в широких пределах. В среднем численность составляла от 1,95 до 6,77 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – от 10,3 до 82,6 мг/м<sup>3</sup>. От лета к осени отмечалось снижение численности и биомассы всех групп планктонных беспозвоночных, в среднем количество зоопланктона сократилась более чем в 3 раза.

Таким образом, анализ полученных в 2010 – 2012 гг. материалов по состоянию планктонных сообществ в районе исследований позволяет сделать определенные выводы. Микробиологические исследования экстремально высоких значений показателей развития микроорганизмов, указывающих на органическое загрязнение морской среды, в период проведения исследований 2010-2012 гг. не выявили. Изучение фитопланктона в данном районе моря показало высокое качественное разнообразие альгофлоры, уровень количественного развития которой в основном определяли синезеленые и диатомые водоросли. В то же время животный планктон, в отличие от растительного, был качественно беден, и, кроме того, его численность и биомасса зависели, главным образом, от развития веслоного рачка *Acartia tonsa*, который был представлен на данной акватории от науплиальных стадий до половозрелых особей.

# **СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: МОРСКАЯ БИОЛОГИЯ**

## Качественный состав и количественные параметры Malacostraca Опуцкого природного заповедника (Юго-Восточный Крым).

Бондаренко Людмила Васильевна, Тимофеев Виталий Анатольевич

ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН»,  
г. Севастополь

Опуцкий природный заповедник (ОПЗ) расположен на южном побережье Керченского полуострова. Разнообразие условий обитания биоты определяет уникальность биологического разнообразия заповедника. В течение прошлого столетия акватория ОПЗ была недоступна для гидробиологических исследований. Появление первых научных материалов, посвящённых изучению макрозообентоса данного региона, стало возможно в 1999 г., благодаря подписанию документов о создании 12 мая 1998 года на территории Керченского полуострова Опуцкого природного заповедника [2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11].

В связи с недостаточной изученностью таксоцены Malacostraca морской части заповедника цель наших исследований заключалась в изучении состава и количественного распределения высших ракообразных в биотопах скал, рыхлых грунтов и ассоциации цистозеры, а также в обобщении имеющихся в литературе материалов по таксономическому составу Malacostraca в перечисленных биотопах.

В основу работы положены материалы бентосных съёмок в прибрежной акватории ОПЗ, выполненных в летний период 2009 и 2013 гг. Пробы с валунов и скал брали с помощью рамки, площадью 0,04 м<sup>2</sup>, обшитой мельничным газом. Сбор биоты, обитающей в рыхлых грунтах осуществляли ручным дночерпателем (S = 0,04 м<sup>2</sup>) на двух разрезах на глубинах 0 – 4 м. Зооэпифитон отбирали на глубинах 0 – 3 м с помощью мешка из мельничного газа. При промывке проб использована система сит с минимальным диаметром ячеек 0,5 мм. Расчёт численности и биомассы ракообразных осуществляли на единицу площади (м<sup>2</sup>) и на единицу веса (кг) водорослей. Дополнительную информацию об относительно крупных и подвижных ракообразных дали исследования с использованием метода трансект [1]. При описании количественного развития фауны использованы показатели численности (N, экз./м<sup>2</sup>) и биомассы (B, г/м<sup>2</sup>; г/кг). Для сравнения сходства фауны рассчитывали коэффициент общности видового состава Сьёренсена-Чекановского:

$$Ks = 2c / (a + b),$$

где c – число общих видов, a и b – число видов в сравниваемых списках.

Ракообразные, обитатели, в основном, водной среды, способны заселять разные биотопы. Проводя сравнительный анализ видового состава и количественных параметров высших ракообразных, обитающих в акватории ОПЗ, мы, скорее, рассматриваем рыхлые грунты, водоросли и скалы не как местообитание видов, а как стацию [6].

В ходе бентосных съёмок в трёх биотопах обнаружено 43 вида Malacostraca, относящихся к отрядам Amphipoda (21), Decapoda (13), Isopoda (5), Cumacea (1), Tanaidacea (2) и Mysidacea (1). Многочисленным по видовому составу является отряд Amphipoda, на долю которого приходится около 49 % всех отмеченных в заповеднике видов ракообразных.

Наибольшее количество видов обнаружено в биотопе скал (21 вид), в рыхлых грунтах – 13 и в сообществе цистозеры – 14 видов (табл. 1).

Биотоп скал представлен отрядами Amphipoda, Decapoda, Isopoda и Tanaidacea. Ранжированный ряд по численности возглавляют амфиподы (1862 экз./м<sup>2</sup>), тогда как по биомассе доминируют десятиногие раки (2,73 г/м<sup>2</sup>) (табл. 2). Основной вклад в

формирование численности вносят *Ampithoe ramondi* (710 экз./м<sup>2</sup>), *Caprella acanthifera* (495 экз./м<sup>2</sup>) и *Stenothoe monoculoides* (480 экз./м<sup>2</sup>), биомассы – *Pilumnus hirtellus* (2,49 г/м<sup>2</sup>).

Таблица 1. Таксономический состав Malacostraca разных биотопов акватории Опукского природного заповедника

Таксон	Биотоп рыхлых грунтов	Биотоп скал	Биотоп цистозиры
Amphipoda	6	12	7
Decapoda	3	7	3
Isopoda	2	3	3
Cumacea	1	-	-
Tanaidacea	-	2	1
Mysidacea	1	-	-
Всего	13	24	14

В биотопе рыхлых грунтов обнаружены ракообразные, относящиеся к отрядам Amphipoda, Decapoda, Isopoda, Cumacea и Mysidacea. Амфиподы также доминируют по численности (137 экз./м<sup>2</sup>), а декаподы – по биомассе (1,78 г/м<sup>2</sup>). Плотность *Echinogammarus foxi* составляет 88% общей численности амфипод. Существенный вклад в формирование биомассы вносит *Diogenes pugilator* (99% общей биомассы).

В сообществе цистозиры акватории мыса Опук идентифицировано 14 видов Malacostraca, относящихся к отрядам Amphipoda, Isopoda и Tanaidacea. Высок показатель численности у амфипод (398 экз./кг), тогда как по биомассе доминируют изоподы (0,19 г/кг) (табл. 2). Численность сформирована за счёт *Ampithoe ramondi* (185 экз./кг), а биомасса – *Dynamene bidentata* (0,13 г/кг).

Таблица 2. Количественные показатели Malacostraca Опукского природного заповедника.

Таксон	Рыхлые грунты		Скалы		Цистозира	
	N, экз./м <sup>2</sup>	B, г/м <sup>2</sup>	N, экз./м <sup>2</sup>	B, г/м <sup>2</sup>	N, экз./кг	B, г/кг
Amphipoda	137	0,0656	1862	0,89	398	0,0854
Decapoda	16	1,7754	92	2,73	-	-
Isopoda	73	0,0645	45	0,06	196	0,1937
Cumacea	41	0,0041	-	-	-	-
Tanaidacea	-	-	860	0,35	54	0,0057
Mysidacea	3	0,0081	-	-	-	-
Итого	270	1,9177	2859	4,03	648	0,2848

Суммарный анализ литературных [3, 7, 8, 9, 10, 11] и собственных данных указывает на относительное богатство фауны Malacostraca акватории Опукского природного заповедника, представленной 59 видами, относящимся к Amphipoda (31), Decapoda (13), Isopoda (9), Tanaidacea (3), Cumacea (1) и Mysidacea (2) (табл. 3).

Наиболее многочисленным является отряд Amphipoda, на долю которого приходится более половины (53 %) всех отмеченных в трёх биотопах видов ракообразных. Данное соотношение выглядит естественным и соответствует сходной относительной представленности амфипод как у берегов Крыма, так и в целом в акватории Чёрного моря.

Общий состав фауны высших раков ОПЗ составляет 43 % от известной для акватории Крыма. Наиболее полно в акватории заповедника представлен отряд Anisopoda (три из четырех отмеченных для Крыма видов). Представленность остальных отрядов колеблется от 7 до 53 %.

К основным охраняемым объектам из приведённого выше списка относятся *Eriphia verrucosa*, *Pachygrapsus marmoratus* и *Hemimysis anomala* Sars, 1907 (Красная книга Крыма).

Таблица 3. Видовой состав Malacostraca Оупукского природного заповедника.

Таксон	Таксон
<b>Amphipoda</b>	<b>Decapoda</b>
<i>Ampelisca diadema</i> Costa, 1853*	<i>Athanas nitescens</i> (Leach, 1813) *°
<i>Ampithoe ramondi</i> Audouin, 1826*° <sup>+</sup>	<i>Carcinus aestuarii</i> Nardo, 1847*
<i>A. hellery</i> G. Karaman, 1975 <sup>+</sup>	<i>Clibanarius erythropus</i> (Latreille, 1818) *
<i>Apherusa bispinosa</i> (Bate, 1857)*° <sup>+</sup>	<i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1829) *
<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i> (Bate, 1857)*	<i>Eriphia verrucosa</i> (Forskål, 1775) *
<i>Biancolina algicola</i> Della Valle, 1893°	<i>Hippolyte leptocerus</i> (Heller, 1863) * <sup>+</sup>
<i>Caprella acanthifera</i> Leach, 1814*° <sup>+</sup>	<i>Liocarcinus vernalis</i> (Risso, 1816) *
<i>Cardiophilus baeri</i> G.O. Sars, 1896*	<i>Macropodia longirostris</i> (Fabricius, 1775) * <sup>+</sup>
<i>Chaetogammarus warpachowskyi</i> Sars, 1897*	<i>Pachygrapsus marmoratus</i> (Fabricius, 1787) *
<i>Deshayesorchestia deshayesii</i> (Audouin, 1826)*	<i>Palemon elegans</i> Rathke, 1837°
<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu, 1813)°	<i>Pilumnus hirtellus</i> (Linnaeus, 1761) *°
<i>Echinogammarus ischnus</i> (Stebbing, 1899) *	<i>Pisidia longimana</i> (Risso, 1816) °
<i>Echinogammarus foxi</i> (Schellenberg, 1928) *	<i>Xantho poressa</i> (Olivi, 1792) * <sup>+</sup>
<i>Erichthonius difformis</i> Milne Edwards, 1830 *°	<b>Isopoda</b>
<i>Grubia crassicornis</i> (A. Costa, 1857) °	<i>Dynamene bidentata</i> (Adams, 1800) * <sup>+</sup>
<i>Hyale perieri</i> (Lucas, 1846) <sup>+</sup>	<i>Eurydice pontica</i> (Czerniavsky, 1868) *
<i>Hyale pontica</i> Rathke, 1837°	<i>Eurydice spinigera</i> Hansen, 1890 *
<i>Jassa ocia</i> (Bate, 1862) ° <sup>+</sup>	<i>Eurydice dollfusi</i> Monod, 1930*
<i>Lanceogammarus andrussowi</i> (G.O. Sars, 1896) *	<i>Idotea baltica</i> (Pallas, 1772) *° <sup>+</sup>
<i>Megaluropus agilis</i> Hoek, 1889*	<i>Idotea ostroumovi</i> Sowinsky, 1895 <sup>+</sup>
<i>Melita palmata</i> (Montagu, 1804) *° <sup>+</sup>	<i>Lekanesphaera hookeri</i> (Leach, 1814) *
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> Costa, 1853*° <sup>+</sup>	<i>Stenosoma capito</i> (Rathke, 1837) *° <sup>+</sup>
<i>Monocorophium acherusicum</i> (Costa, 1853) °	<i>Tylos ponticus</i> Grebnitsky, 1874*
<i>Monocorophium insidiosum</i> (Crawford, 1937) * <sup>+</sup>	<b>Tanaidacea</b>
<i>Nototropis guttatus</i> Costa, 1853*°	<i>Apseudopsis os troumovi</i> Bacescu & Carausu, 1947*
<i>Orchestia mediterranea</i> Costa, 1853 * <sup>+</sup>	<i>Leptocheilia savignii</i> (Kroyer, 1842) ° <sup>+</sup>
<i>Orchestia montagui</i> Audouin, 1826*	<i>Tanais dulongii</i> (Audouin, 1826) °
<i>Perioculodes longimanus</i> (Bate & Westwood, 1868)*	<b>Cumacea</b>
<i>Pleonexes gammaroides</i> (Bate, 1857) <sup>+</sup>	<i>Cumella (Cumella) limicola</i> Sars, 1879*
<i>Pontogammarus maeoticus</i> (Sovinskij, 1894) *	<b>Mysidacea</b>
<i>Stenothoe monoculoides</i> (Montagu, 1815) *° <sup>+</sup>	<i>Gastrosaccus sanctus</i> (Van Beneden, 1861) *
	<i>Hemimysis anomala</i> G.O. Sars, 1907*

Примечание: рыхлые грунты - \*, водоросли - °, скалы - <sup>+</sup>.

В ходе бентосных съёмок 2009–2013 гг. в трёх биотопах акватории ОПЗ обнаружено 43 вида Malacostraca, относящихся к отрядам Amphipoda, Decapoda, Isopoda, Cumacea, Tanaidacea и Mysidacea. Анализ литературных данных дополняет уже представленный список до 59 видов. Но при этом он не охватывает в полной мере всех представителей высших ракообразных, обитающих в акватории заповедника. Поэтому дальнейшие исследования, включая все биотопы ОПЗ, помогут дополнить этот список.

Во всех исследованных биотопах ранжированный ряд по численности возглавляют Amphipoda. В скальном и песчаном биотопах по биомассе доминируют Decapoda, тогда как в сообществе цистозеры ранжированный ряд по биомассе возглавляют Isopoda.

Сравнительный анализ видового состава Malacostraca разных биотопов показал, что коэффициент общности видов, обитающих на скалах и водорослях (0,51), несколько превышает таковой (0,34) для видов, живущих на скалах и рыхлых грунтах, а также для представителей ракообразных обитающих в сообществе водорослей и в рыхлых грунтах (0,42). Ракообразные зарослей цистозеры обнаруживают сходство по видовому составу с организмами, обитающими на твердых субстратах.

### Список литературы

1. Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М., Пронина О.А., Штрик В.А. Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны / Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. 2005, вып.3. 134 с.
2. Бондаренко Л.В., Болтачева Н.А., Копий В.Г., Тимофеев В.А. Макрозообентос мелководья Опуцкого природного заповедника // Заповедники Крыма – 2016: биологическое и ландшафтное разнообразие, охрана и управление. Тезисы VIII Международной научно-практической конференции (Симферополь, 28-30 апреля 2016 г.). – Симферополь, 2016. – С. 274–276.
3. Киселёва Г. А., Заклецкий А. А., Ширинская С. Э. Макрозообентос в ассоциациях цистозеры прибрежной сублиторали и островов Скалы-Корабли в Опуцком природном заповеднике / Геополитика и экогеодинамика регионов. Т.10, вып. 1. Симферополь, 2014. – С. 613-618.
4. Красная книга Республики Крым Животные / Отв.ред. д.б.н., проф. С.П.Иванов и к.б.н. А.В.Фатерыга. – Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015. – 440с.
5. Макаров М.В., Ковалева М.А., Болтачева Н.А., Копий В.Г., Бондаренко Л.В. // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2015. – № 3-4 (64). – С. 425–428.
6. Реймерс Н.Ф. Основные биологические понятия и термины. – М.: Просвещение, 1988. – 319 с.
7. Терентьев А.С. Биоценоз *Chamelea* на шельфе Опуцкого природного заповедника. // Заповедники Крыма на рубеже тысячелетий. / Материалы республиканской конференции., Симферополь, 2001, С.115–117.
8. Терентьев А.С. Биоценоз *Dopacilla* в прибрежной зоне Опуцкого природного заповедника/ Заповедники крым: Биоразнообразие и охрана природы в азовско-черноморском регионе. Материалы VII Международной научно-практической конференции (Симферополь, 24-26 октября 2011 г.). – Симферополь, 2011. – С. 398–402.



9. Терентьев А.С. Состояние донного сообщества песчаного грунта акватории Опукского природного заповедника/ Заповедники Крыма: Биоразнообразие на приоритетных территориях: 5 лет после Гурзуфа. Материалы II научной конференции (Симферополь, 25-26 апреля 2002 г.). – Симферополь, 2002. – С. 250–254.

10. Шадрин Н.В., Копий В.Г., Колесникова Е.А., Афанасова Т.А. Опукский природный заповедник: к изучению биоразнообразия песчаной супралиторали (Крым, Керченский полуостров)/ Заповедники Крыма. Биоразнообразие и охрана природы в Азово-Черноморском регионе. Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Симферополь, 2011. – С.381–384.

11. Урюпова Е. Ф., Шадрин Н.В. Ракообразные зоны заплеска и верхней сублиторали Опукского заповедника (Крым, Черное море) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. – 2009. – № 1. – С. 48–52.

**Временная динамика донной фауны в батииали Арктики (пролив Фрама, 2600 м).  
Веденин Андрей Александрович<sup>1</sup>, Мокиевский Вадим Олегович<sup>1</sup>, Зольтведел  
Томас<sup>2</sup>, Будаева Наталия Евгеньевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, ИО РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Alfred Wegener Institut für Polar und Meeresforschung, AWI, Bremerhaven

Целью многих работ по структуре донных сообществ макробентоса является изучение временной динамики. Многочисленные работы по долговременным изменениям в структуре донной фауны проводились преимущественно в мелководных районах на шельфе, в эстуариях и зонах, подверженных значительному антропогенному влиянию (Dauvin et al., 2006; Cloern and Nichols, 2012). При этом глубоководные батииальные и абиссальные районы (особенно в Арктике) остаются практически не изученными. Немногочисленные исследования, проведенные в глубоководных районах Мирового Океана, показывают, что батииальные и абиссальные донные сообщества во многом изолированы от сезонных и многолетних колебаний параметров среды, происходящих в поверхностных водах, и демонстрируют меньшую временную изменчивость по сравнению с сообществами на шельфе и литорали (Tyler, 1995; Glover et al., 2010). Межгодовая изменчивость была показана для сообществ мегабентоса на равнине Поркупайн (Billet et al., 2010) и в восточной части пролива Фрама на глубоководном полигоне HAUSGARTEN (Bergmann et al., 2011). По предварительным данным, общая численность мегафауны в районе полигона HAUSGARTEN значительно сократилась с 2002 по 2007 г., что согласуется с устойчивым ростом придонной температуры и уменьшением содержания органики в поверхностных слоях осадка в течение этого периода времени (Bergmann et al., 2011).

Пространственная структура макробентоса на полигоне HAUSGARTEN была ранее описана по сборам 2001 г. (Wlodarska-Kowalczyk et al., 2004), 2003 г. (Budaeva et al., 2008) и 2012 г. (Vedenin et al., 2016), однако подробных сравнений между разными сборами не публиковалось. Целью нашей работы было сравнение проб макрофауны 2003 и 2012 гг. и выявление временных изменений в структуре сообществ макробентоса и в распределении отдельных таксонов за девятилетний период.

Материал был собран в восточной части пролива Фрама на многолетнем глубоководном полигоне HAUSGARTEN на глубине ~2600 м. В 2003 г. было отобрано три станции (по три пробы на станцию), в 2012 г. станции были повторены, и была взята еще одна станция в том же районе (по одной пробе на станцию). Данные по станциям представлены в таблице 1, карта станций показана на рисунке 1. Отбор производился бокс-корером USNEL площадью 0,25 м<sup>2</sup>. Собранный материал промывали через сито с диаметром ячеек 0,5 мм и фиксировался 4% формалином. Таксоны, относящиеся к мейобентосу (Nagpacticoida, Nematoda и Ostracoda) и пелагические виды были исключены из дальнейшего анализа. Кроме того, пять видов (губка *Caulophacus arcticus*, иглокожие *Bathycrinus carpenteri*, *Elpidia heckeri*, *Kolga hyalina* и *Pourtalesia jeffreysi*) были отнесены нами к мегабентосу и также исключены из статистического анализа. Все организмы были определены нами в лаборатории, по возможности, до вида. Особи каждого вида подсчитывали и взвешивали (сырой вес). Анализ сходства станций были проведены с помощью методов кластерного анализа (количественный индекс Брея-Кертиса). Временные изменения за девятилетний период оценивались в разных пространственных масштабах: ~25 км (сравнение всех проб), ~2 км (сравнение пар станций HGIV–HGIV-а и S1–S1-а) и ~400 м (сравнение трех проб 2003 г. на

каждой станции с соответствующими им пробами 2012 г.). Для видов, присутствующих исключительно в пробах 2003 г., либо исключительно в пробах 2012 г. использовался алгоритм оценки вероятности случайного присутствия/отсутствия в пробах. Если предположить, что вид в группе проб А и группе проб В распределен равномерно, то вероятность не найти этот вид в каждой пробе группы В будет  $(1-P_A)^{N(B)}$ , где  $N(B)$  – количество проб в группе В, а  $P_A$  – доля проб в группе А, где вид был обнаружен. Используя это соотношение, мы оценивали вероятность случайного отсутствия каждого вида в пробах каждого года. Количество проб, необходимое для нахождения вида в группе проб В, подсчитывалось при помощи формулы:  $n = [\log(\alpha)] / [\log(1-P_A)]$ , где  $\alpha$  – вероятность обнаружения вида в группе проб В, принятая за 0,95 (Мхеидзе и Мирвис, 1975; Козлов, 2014). Статистический анализ производился при помощи программ Microsoft Excel 2007, Primer V6 и Past 3.

На всех станциях было обнаружено одно изменчивое сообщество с доминированием полихет *Galathowenia fr agilis* и *Myriochele h eeri*. Достоверных различий в интегральных характеристиках сообщества (общая численность, биомасса, разнообразие) за девятилетний период выявлено не было. Суммарно было найдено 75 видов, из которых 40 видов были встречены во все годы, 22 вида – исключительно в 2003 г. и 13 видов – исключительно в 2012 г. Несмотря на достаточно высокий уровень сходства (~51 между всеми пробами), было выявлено достоверное различие между северными станциями (HGIV и HGIV-a) и южными (S1 и S1-a). Результаты кластерного анализа показаны на рисунке 2. Соответственно, временные различия превышают пространственные различия внутри каждой из станций (в масштабе 0,4–2 км). Однако, временные различия не превышают пространственные в масштабе 20-25 км (расстояние между самой северной и южной станциями). Численность полихет *Chaetozone cf. jubata* и *Abyssoninoe cf. scopa* значительно возросла за девятилетний период, в то время как численность кумовых раков *Diastylis polaris* и двустворчатых моллюсков *Yoldiella annenkovae* уменьшилась на всех станциях. В то же время, численность двустворчатых моллюсков *Thyasira ockelmanni* уменьшилась в масштабе ~2 км (т.е., отдельно на северных, и отдельно на южных станциях). Отсутствие как минимум 6 видов из 13 в 2003 г. (*Jasmineira schaudinni*, *Laphania boeckii*, *Spiochaetopterus typicus*, *Bruunellia* sp., *Nemertea* gen.sp., *Harrimaniidae* gen.sp.), и отсутствие как минимум четырех видов из 22 в 2012 г. (*Rissoidea* gen.sp., *Mohnia mohni*, *Desmosomatidae* gen.sp. и *Eugerdia* sp.) оценивается как неслучайное.

Мы предполагаем, что девятилетний перерыв между сборами оказался слишком велик для улавливания временных изменений макрофауны, которые могли произойти за это время. Ранее было показано, что значительные циклические изменения во всей экосистеме могут быть прослежены за 2-3 года, включая структуру планктонных сообществ, величины первичной продукции и даже численность мегафауны (Soltwedel et al., 2015). Таким образом, для корректного анализа потенциальных изменений в сообществах макробентоса необходимы ежегодные сборы в районе пролива Фрама.

Таблица 1. Глубина и координаты станций.

Год	Станция	Проба	Широта	Долгота	Глубина (м)
2003	HGIV-a	PS64/440	79°04.79' с.ш.	4°06.05' в.д.	2500
2003	HGIV-a	PS64/441	79°04.89' с.ш.	4°05.77' в.д.	2500
2003	HGIV-a	PS64/442	79°05.22' с.ш.	4°06.13' в.д.	2482
2003	S1	PS64/454	78°55.01' с.ш.	5°00.27' в.д.	2637
2003	S1	PS64/455	78°54.97' с.ш.	5°00.24' в.д.	2637
2003	S1	PS64/456	78°54.97' с.ш.	5°00.04' в.д.	2638
2003	S1-a	PS64/461	78°56.02' с.ш.	4°59.60' в.д.	2610
2003	S1-a	PS64/462	78°56.04' с.ш.	4°59.62' в.д.	2610
2003	S1-a	PS64/463	78°56.21' с.ш.	4°59.18' в.д.	2606
2012	HGIV	PS80/165-9	79°03.91' с.ш.	4°10.73' в.д.	2465
2012	HGIV-a	PS80/195-3	79°04.93' с.ш.	4°05.90' в.д.	2458
2012	S1-a	PS80/174-1	78°56.01' с.ш.	4°59.58' в.д.	2609
2012	S1	PS80/197-1	78°55.08' с.ш.	5°00.10' в.д.	2594

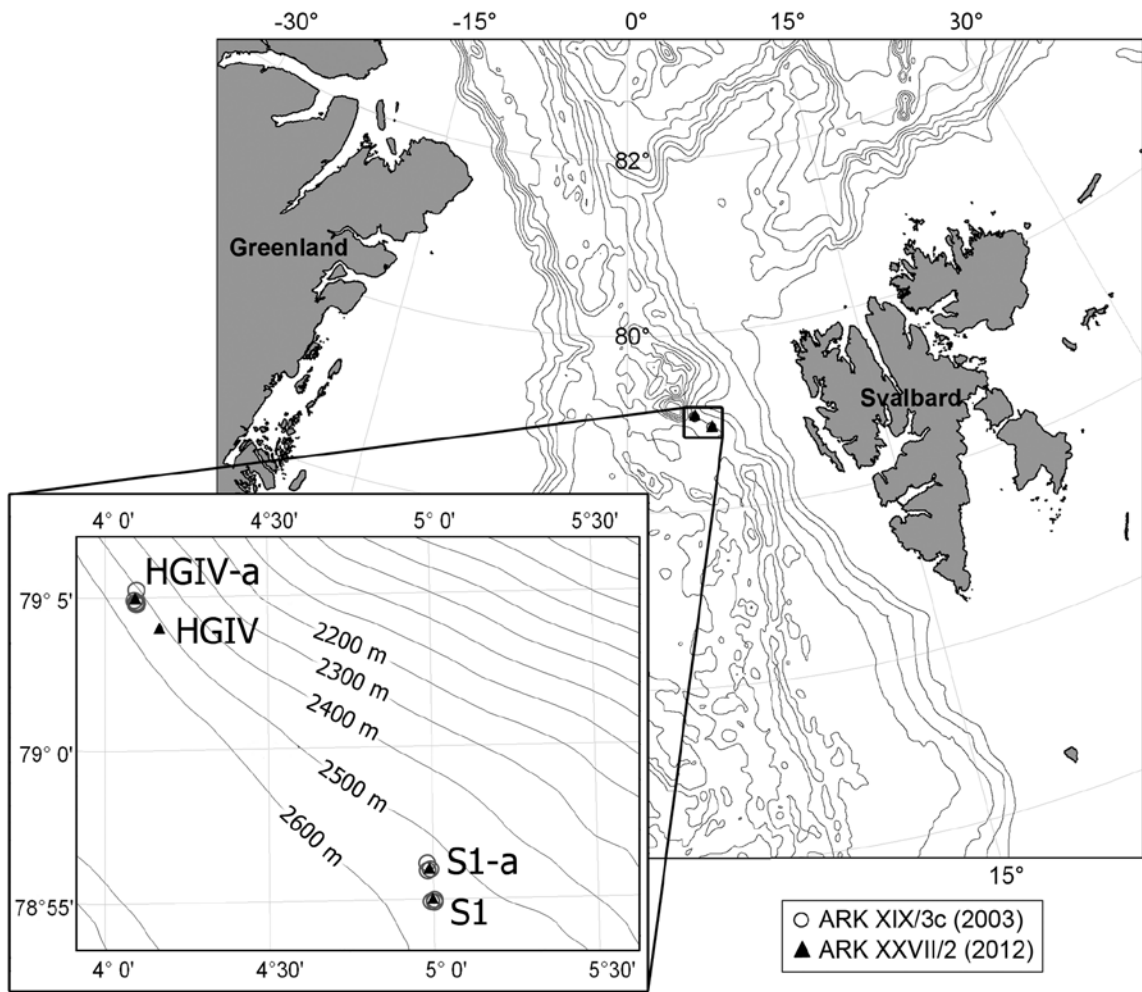


Рис. 1. Карта станций.

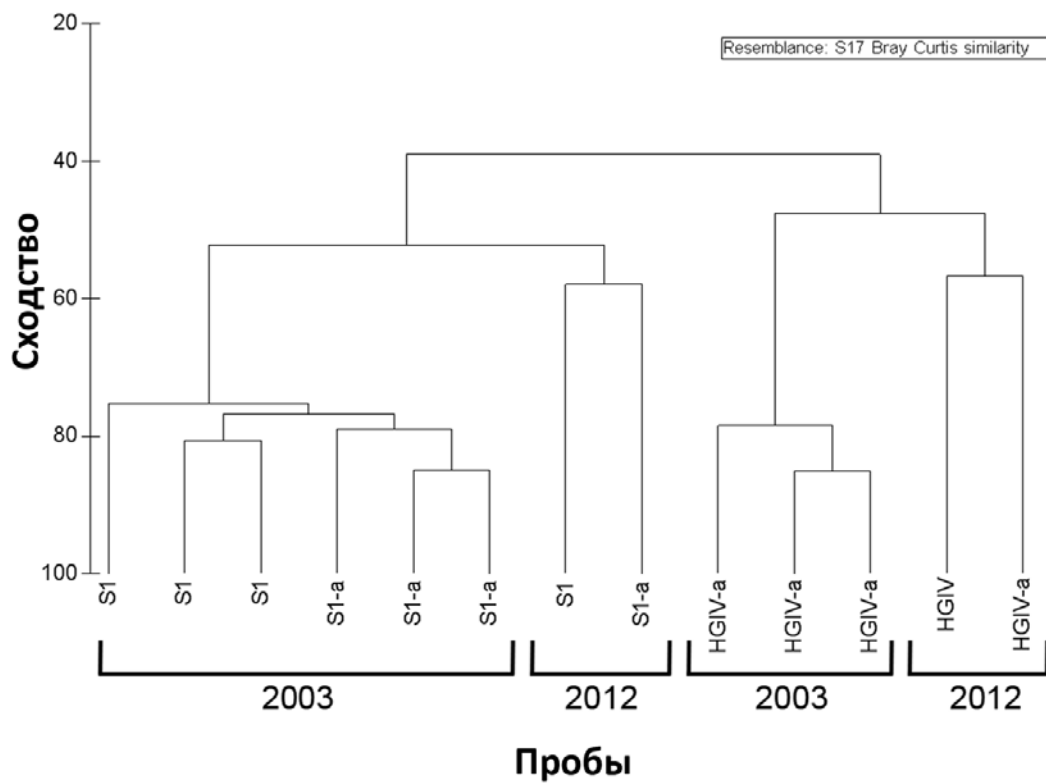


Рис. 2. Результаты кластерного анализа станций (индекс Брея-Кертиса).

## Список литературы

- Козлов М.В. (2014). Планирование экологических исследований. М.: Т-во науч. изданий КМК.
- Мхеидзе М.О., Мирвис А.Б. К вопросу об определении величины выборки // Биометрические методы. М., Наука, 1975, с. 90-91.
- Bergmann M., Soltwedel T., Klages M. (2011). The interannual variability of megafaunal assemblages in the Arctic deep sea: preliminary results from the HAUSGARTEN observatory (79 N). *Deep Sea Res. II* 58:711-723
- Billett D.S.M., Bett B.J., Reid W.D.K., Boorman B., Priede I.G. (2010). Long-term change in the abyssal NE Atlantic: the 'Amperima Event' revisited. *Deep Sea Res. II* 57: 1406–1417
- Budaeva N.E., Mokievsky V.O., Soltwedel T., Gebruk A.V. (2008). Horizontal distribution patterns in Arctic deep-sea macrobenthic communities. *Deep Sea Res. I* 55: 1167–1178
- Cloern J.E., Nichols F.H. (2012). Temporal dynamics of an estuary: San Francisco Bay (Vol. 30). Springer Science & Business Media
- Dauvin J.C., Desroy N., Janson A.L., Vallet C., Duhamel S. (2006). Recent changes in estuarine benthic and suprabenthic communities resulting from the development of harbour infrastructure. *Mar. Pollut. Bull.* 53: 80-90
- Glover A.G., Gooday A.J., Bailey D.M., Billett D.S.M., Chevaldonné P., Colaco A., Vanreusel A. (2010). Temporal change in deep-sea benthic ecosystems: a review of the evidence from recent time-series studies. *Adv. Mar. Biol.* 58: 1-95
- Soltwedel T., Bauerfeind E., Bergmann M., Bracher A., Budaeva N., Busch K., Cherkasheva A., Fahl K., Lalande C., Metfies K., Nöthig E.-M., Meyer K., Quéric N.-V., Schewe I., Wlodarska-Kowalczyk M., Klages M. (2015). Natural variability or anthropogenically-induced variation? Insights from 15 years of multidisciplinary observations at the arctic marine LTER site HAUSGARTEN. *Ecol. Indic.* 65: 89-102
- Tyler P.A. (1995). Conditions for the existence of life at the deep-sea floor: an update. *Oceanogr. Mar. Biol. Annual Rev.* 33:221–244
- Vedenin A., Budaeva N., Mokievsky V., Pantke C., Soltwedel T., Gebruk A. (2016). Spatial distribution patterns in macrobenthos along a latitudinal transect at the deep-sea observatory HAUSGARTEN. *Deep Sea Res. I* 114: 90-98
- Wlodarska-Kowalczyk M., Kendall M.A., Weslawski J.-M., Klages M., Soltwedel T. (2004). Depth gradients of benthic standing stock and diversity on the continental margin at a high latitude ice-free site (off West Spitsbergen, 791N). *Deep Sea Res. I* 51: 1903–1914.

## **Особенности флоры прибрежной зоны Валаамского архипелага.**

**Вельгоша Алина Григорьевна, Зуева Надежда Викторовна**

*МГУ им.М.В. Ломоносова, г.Москва*

### **Актуальность темы исследования**

Высшие водные растения играют важную, а иногда и определяющую роль в биологическом режиме, продуктивности водоёмов и в процессах формирования качества воды в водных объектах. Загрязнение водоёмов изменяет структуру сообществ, их видовой и количественный состав. Интенсивные загрязнения сельскохозяйственными и бытовыми стоками приводят к зарастанию и заболачиванию водоёмов, а промышленными – к нарушению и полной деградации биоценозов. В процессе самоочищения загрязнённых вод принимают участие практически всё население водоёмов. Большую роль в этом процессе играют прибрежно-водные растения.

Основной же интерес в необходимости исследования данной территории представляет то, что она мало подвержена антропогенному воздействию и нагрузка хозяйственной деятельности здесь незначительна. Исследование водной растительности Валаамского архипелага позволит получить новые данные о характере зарастания прибрежной зоны Ладожского озера.

**Цель настоящей работы** состояла в выявлении особенностей растительного покрова прибрежной зоны Валаамского архипелага. В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

1. Охарактеризовать физико-географические условия района исследований.
2. Обобщить имеющиеся данные по флоре Ладожского озера.
3. Провести анализ флоры на примере одного из заливов Валаамского архипелага.

Работа основывается на данных собственных полевых исследований заливов Валаамского архипелага Ладожского озера, на основе которых была написана и защищена магистерская диссертация, а также на материалах УНС РГММУ «Валаам» и Института Озероведения РАН. В период с 2011 по 2014 гг. на базе УНС РГММУ «Валаам» было исследовано побережье пяти заливов Валаамского архипелага. Каждый из исследованных заливов имеет свою ярко выраженную форму, одни более открытые и сильнее подвержены ветрам и волновой динамике, другие – сравнительно закрытые, врезающиеся вглубь суши. Протяжённость и извилистость береговой линии рассматриваемых заливов, вдоль которой могут развиваться высшие водные растения, различна. В данной работе приведен анализ флоры на примере залива Естественной протоки.

### **Анализ флоры на примере залива Естественной протоки**

*Систематический состав флоры залива Естественной протоки.* Флора макрофитов исследуемого залива сложена 36 видами, которые относятся к 30 родам и 24 семействам. Более 50 % видов относятся к цветковым двудольными (19 видов) и 39 % – к цветковым однодольным (14 видов). Исключениями являются 3 представителя из разных классов: Bryopsida (*Fontinalis antipyretica*), Equisetopsida (*Equisetum fluviatile*), Isoetopsida (*Isoetes lacustris*) (рис.1).

Таксономическое разнообразие флоры залива Естественной протоки выражается соотношением числа видов к числу семейств и числа видов к числу родов (табл. 1). В состав



24 семейств входят 36 видов водных и околоводных высших растений. Систематический состав водной флоры отражен в спектрах распределения семейств по числу входящих в них видов.

Таблица 1. Число и соотношение таксонов разного ранга во флоре макрофитов залива Естественной протоки.

Показатели		Вся флора (1,2,3,4 экотипы)
Число семейств		24
Число родов		30
Число видов		36
Соотно- шения	числа видов к числу семейств	1,5
	числа видов к числу родов	1,2
	числа родов к числу семейств	1,2
Показатели		Водная флора (1,2,3,4 экотипы)
Число семейств		19
Число родов		21
Число видов		24
Соотно- шения	числа видов к числу семейств	1,3
	числа видов к числу родов	1,1
	числа родов к числу семейств	1,1

Видовой состав двух выделенных для описания кутов залива Естественной протоки различен из-за разных условий. Наиболее богатой флорой отличается кут Белого скита – 31 вид, в то время, как в куте выхода протоки было зафиксировано лишь 19 видов. Истинно-водных растений в 1 и 2 кутах примерно одинаковое количество, 8 и 6 видов, соответственно. Для более наглядного сравнения видовой состава кутов залива Естественной протоки был рассчитан коэффициент сходства флоры по Жаккару. Значение коэффициента сходства всей флоры равно 39%. При учете только настоящих водных растений – гидрофитов, флоры кута Белого скита и кута у выхода естественной протоки близки по составу на 40%. Общими являются 4 вида гидрофитов: элодея канадская (*Elodea canadensis*), полушник озёрный (*Isoetes lacustris*), ряска малая (*Lemna minor*), рдест злаковый (*Potamogeton gramineus*).

#### Экологический состав флоры залива Естественной протоки.

Флора залива Естественной протоки представлена четырьмя экотипами (Рисунок 2). Наибольшим разнообразием выделяются занимающие средние уровни береговой зоны затопления гидрофиты. Именно по этой причине у кута Белого скита трансекту начинали прокладывать не у уреза воды, а с наиболее затопленной части суши. Распространенными видам-гидрофитами здесь являются вейники седеющий и незамеченный (*Calamagrostis canescens* (Web.) Roth и *Calamagrostis neglecta* (Ehrh.)), подмаренники трёхнадрезный и болотный (*Galium trifidum* L. и *Galium palustre* L.), звездчатка болотная (*Stellaria palustris* Retz.). Ближе к урезу воды – лютики ползучий и стелющийся (*Ranunculus reptans* L. и *Ranunculus reptans* L.), незабудка болотная (*Myosotis palustris* L.). Вместе с гидрофитами гидрофиты составляют более 60 % всей отмеченной флоры бухты, что свидетельствует о

более густом зарастания береговой линии заходящими в воду макрофитами, нежели о доминировании свободно плавающих растений в толще воды.

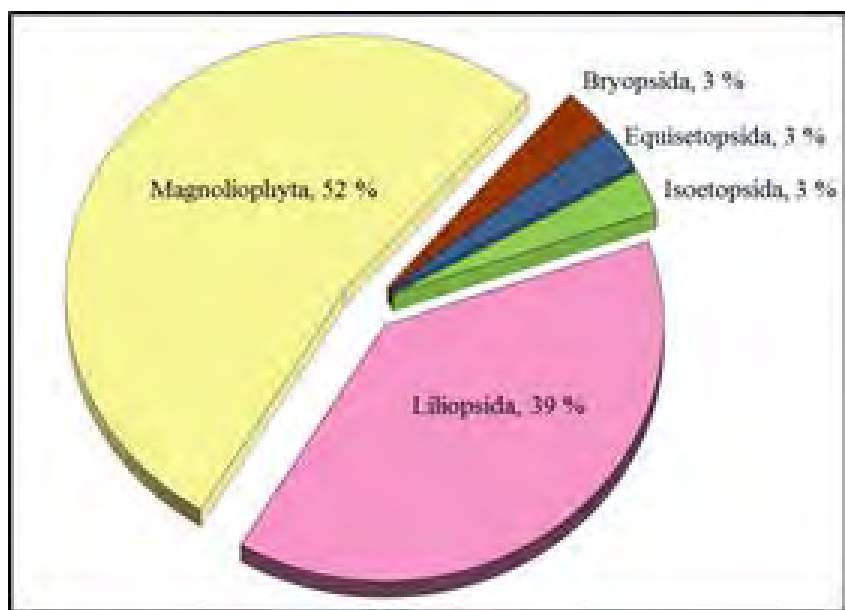


Рис. 1 – Систематический состав флоры залива Естественной протоки.



Рис. 2. Экологический состав флоры залива Естественной протоки.

Гелофиты представлены тремя видами во флоре залива Естественной протоки: тростник южный (*Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud*), встречающийся в сообществах осок острой и пузырчатой и вейников седеющего и незамеченного, произрастающая у уреза воды частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica L.*), заходящий в воду хвощ приречный (*Equisetum fluviatile L.*).

Индекс гидрофности флоры, учитывающий отношение каждого из экотипов ко всей флоре, характеризует экологическую структуру. Рассчитанный для всей флоры (1,2,3,4 экотипы – 36 видов) залива Естественной протоки индекс равен 0,33 (табл. 2), что свидетельствует о достаточно высоком содержании настоящих водных макрофитов во флоре залива. Разнообразие водной флоры несколько ниже (24 вида), индекс гидрофности имеет

отрицательный знак, что говорит о небольшом доминировании прибрежно-водных растений (14 видов) над истинно-водными (10 видов).

*Особенности распространения видов флоры залива Естественной протоки.*

Для выявления особенностей распространения видов была проведена на месте глазомерная оценка обилия вида по шкале Друде. Наиболее часто встречаемыми видами во флоре залива Естественной протоки являются мох (*Fontinalis a ntipyretica*), пузырчатка средняя (*Utricularia i ntermedia*) и лютик стелющийся. Редкими видами являются 8 макрофитов, зафиксированных лишь в некоторых закутках вдоль всего исследуемого побережья Естественной протоки: ряски малая (*Lemna m inor*) и трехраздельная (*Lemna trisulca*), осока пузырчатая и др. Более половины всей флоры (24 вида из 36) составляют виды изредка встречаемые.

Таблица 2. Соотношение экологических групп видов во флоре залива Естественной протоки.

Экологические группы видов	Число видов	Доля общего числа видов, %
Гидрофиты	10	28
Гелофиты	3	8
Гигрогелофиты	11	31
Гигрофиты	14	39
Общее число видов	36	
Индекс гидрофности всей флоры	0,33	
Индекс гидрофности водной флоры	-0,17	

### Заключение

В настоящей работе была охарактеризована водная система района исследования, обобщены данные по флоре Ладожского озера, проведен подробный анализ флоры на примере одного залива, выявлены закономерности и особенности зарастания юго-восточной части Валаамского архипелага.

Выполненные исследования растительного покрова залива Валаамского архипелага позволили установить ряд закономерностей и особенностей, подходящих для всего шхерного района Ладожского озера, особенно для незатронутых хозяйственной деятельностью территорий:

1. Крупнейшее в Европе Ладожское озеро является полизональным с четким разграничением водных масс на несколько зон, что обуславливает характер зарастания прибрежной зоны. Слабое зарастание побережья является следствием естественного хода развития озера.

2. Флора высших водных растений рассмотренного залива Естественной протоки Валаамского архипелага насчитывает по нашим данным 36 видов. Она характеризуется преобладанием околководных макрофитов над водными.

3. Влияние антропогенной деятельности в условиях заповедной зоны Валаамского архипелага выражено крайне слабо. Особенности зарастания прибрежной зоны могут служить фоновыми.

4. Во флоре исследуемого залива наблюдается преобладание прибрежно-водных растений, а на долю настоящих водных макрофитов приходится чуть более 30%.

## **Анатомия висцерального аппарата проходной мальмы (*Salvelinus malma*) реки Кроноцкая (Камчатка).**

**Громова Евгения Сергеевна<sup>1</sup>, Махотин Валерий Васильевич<sup>1</sup>, Кузищин Кирилл Васильевич<sup>1</sup>, Маркевич Григорий Николаевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва*

<sup>2</sup>*Кроноцкий государственный заповедник*

### **Введение**

Висцеральный аппарат лососевых рыб предоставляет примеры необычайной морфологической пластичности, обусловленной адаптацией к разнообразию кормовой базы этих примитивных Teleostei. Проходная мальма *Salvelinus malma* реки Кроноцкая считается предковым видом для морфологически дифференцированных форм гольцов, обитающих в озере Кроноцкое. Сравнительное изучение строения мышц и соединительнотканых элементов аппарата питания мальмы позволило получить детальную характеристику особенностей анатомии вида, стоящего у истоков процесса адаптации челюстного аппарата дивергирующих популяций, являющихся уникальным примером фенетического разнообразия.

### **Материал и методы**

Для исследования мускулатуры и соединительнотканых элементов висцерального аппарата проходной мальмы р. Кроноцкая изготовили 3 спиртовых препарата головы по традиционной методике. Препараты исследовали при помощи бинокля. Рисунки выполнены на основе цифровых цветных фотографий препаратов (камера Panasonic DMC-FZ8). Фотографии обрабатывали в программе Adobe Photoshop CS2, создавая по ним точные контурные рисунки, которые затем корректировали, сравнивая с исходным объектом.

### **Результаты и обсуждение**

Путем детального анатомирования исследованы ранее не описанные особенности строения висцерального аппарата проходной мальмы. Обнаружено, что в составе *membrana buccopalatini* [1] мальмы можно выделить дифференцированные структуры – два сухожилия и связку (рис. 1: t1, t2, lam). В умеренной степени обособленное *lig. articulomaxillare* (lam) начинается с латеральной поверхности *anguloarticulare* сразу же впереди челюстного сустава, тянется рострально, прилегая к наружной поверхности *pulvinar* (pul), и следует параллельно *maxillare* (mx), прикрепляясь к его дорсальной поверхности позади области сустава с хрящевым латеральным выростом *palatinum* (clp). По мере приближения к месту своего окончания *lig. articulomaxillare* отдает волокна в состав *membrana buccopalatini*, постепенно истончаясь. В области между дорсальным краем *maxillare* и *lig. articulomaxillare* *membrana buccopalatini* формирует карман (mmb) с пигментированной поверхностью, которого не имеется у семги.

Обнаружено, что передняя половина порции A2 *m. adductor mandibulae* парасагиттально подразделяется на 2 подпорции – A2a и A2b; в задней половине порции это деление исчезает (рис. 1). Волокна подпорции A2b начинаются с ростральной области *metapterygoideum* (mt), поверхность которого на этом участке образует ребра, а также с латеральной поверхности передней части *membrana suspensorii* (ms) [2]. Волокна подпорции A2a прикрепляются

дорсальнее области отхождения подпорции A2b, заполняя пространство под горизонтальным «карнизом» *membrana suspensorii*. От рostrального края подпорции A2a в переднеventральном направлении отходит сухожилие (t1), часть волокон которого присоединяется к *lig. articulomaxillare*, а часть устремляется под эту связку, веерообразно оканчиваясь напрямую на срединной области *maxillare*. Волокна сухожилия t2, тянущегося от переднего края подпорции A2b и развитого более слабо, следуют рostrально. Под передненижнем краем глазного яблока они почти исчезают, однако впереди возникают вновь и вместе с *lig. articulomaxillare* включаются в состав единого блестящего соединительнотканного тяжа, оканчивающегося в основании ножки *maxillare*. Такого образования у семги не имеется. Структурированные соединительнотканные волокна, которые некоторые авторы описывают как *lig. articulomaxillare* у семги [3], веерообразно расходятся не далее 1/3 длины задней части *maxillare*.

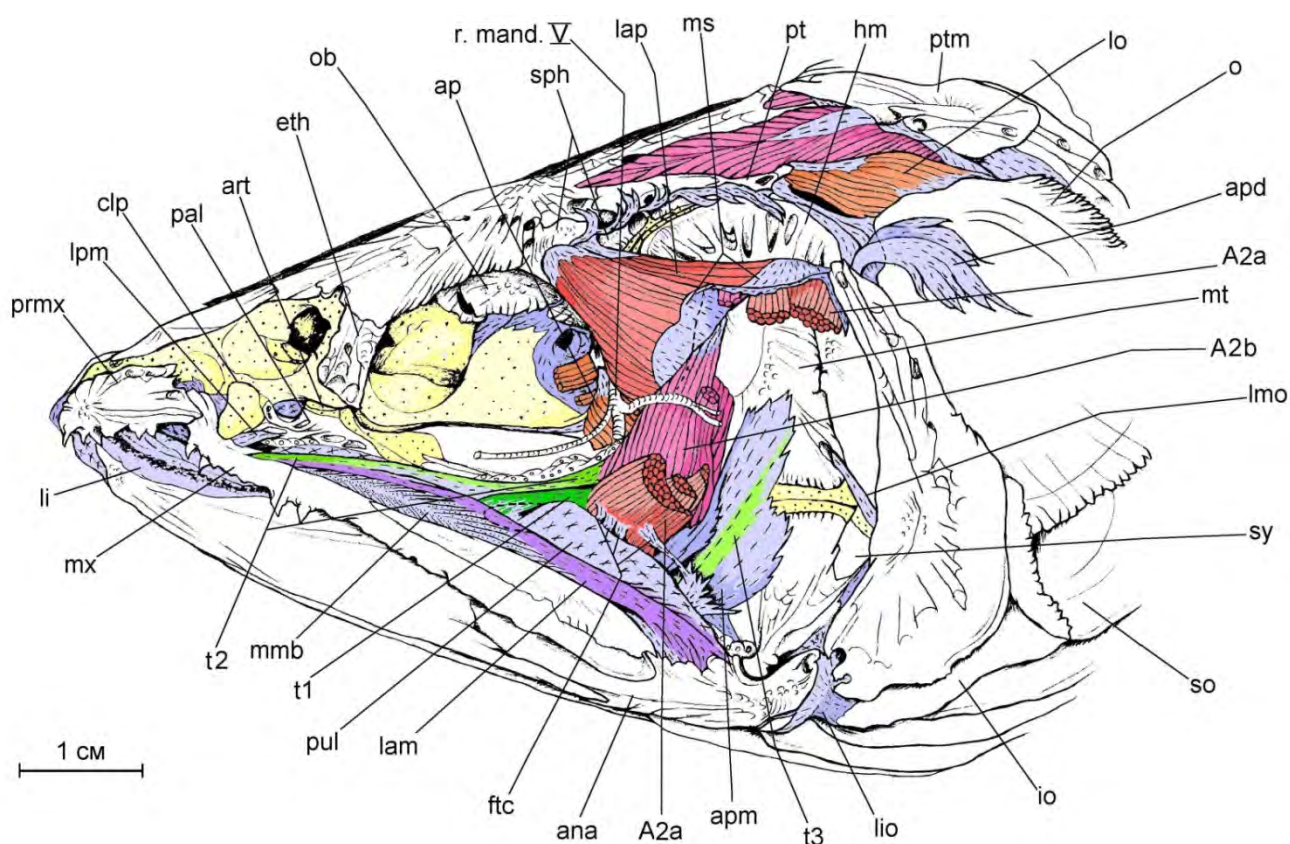


Рис. 1. Голова проходной мальмы *Salvelinus malma*, вид сбоку. Видны 2 отдельных сухожилия (t1 и t2) отходящие от двух рostrальных подразделений порции A2 *m. adductor mandibulae* (A2a и A2b), и *lig. articulomaxillare* (lam) – оканчивающиеся на *maxillare*. Мышцы показаны красным, хрящ – желтым, кости – белым, соединительнотканные элементы – синим; сухожилия выделены зеленым. Часть связок этмоидного отдела, а также каудальных волокон порции A2 *m. adductor mandibulae* - удалены.

Строение *membrana suspensorii* мальмы отличается от такового у семги, не образуя карманов, увеличивающих площадь её поверхности [2]. *M. levator arcus palatini* (lap) и *m. dilatator operculi* у мальмы ориентированы рostrокаудально. Для прикрепления *membrana suspensorii* на поверхности *hyomandibulare* развит костный гребень. Область окончания *m. adductor arcus palatini* (ap) не захватывает треугольный рostrальный отросток *hyomandibulare*. Кроме того, в отличие от семги, у мальмы конечное сухожилие порции A2

(t3), прикрепляющееся к внутренней поверхности нижней челюсти, не обособлено и является частью пластины её апоневроза (apm). У мальмы оно прикрепляется к медиальной поверхности anguloarticulare под большим углом по сравнению с семгой, делая рычаг приведения нижней челюсти более эффективным.

Формирование дифференцированных соединительнотканых образований в пределах membrana buccopalatini говорит о том, что maxillare мальмы обладает большей степенью подвижности по сравнению с семгой, и его движения тонко контролируются путем сокращения волокон ростральных подразделений порции A2 m. adductor mandibulae (A2a и A2b, соответственно). Существование хорошо обособленных связок и сухожилий m. adductor mandibulae, обслуживающих maxillare, скорее характерно для представителей Neoteleostei (Datovo, Vari 2013), нежели для более примитивных Salmoninae. Волокна сухожилия t2 подпорции A2b совместно с конечными волокнами lig. articulomaxillare вкладываются в образование единого плотного округлого соединительнотканного тяжа, тонус и степень натяжения которого помогают контролировать направление скольжения в плоском суставе, сформированном хрящевым латеральным выростом palatinum и основанием ножки maxillare. Кроме того, этот тяж помогает регулировать движения смещения в другом многоостном суставе – между хрящевым этmoidным отделом нейрокраниума и дорсальной поверхностью хрящевого латерального выроста palatinum. Таким образом, эта структура помогает компенсировать отсутствие внутрисуставных связок, препятствующих расхождению суставных поверхностей и ограничивающих размах движения в суставах у более высоко стоящих позвоночных. Натяжение сухожилия t1 контролирует срединную область тела maxillare, взаимодействуя с lig. maxillomandibulare. Наличие у мальмы пигментированного кармана в составе membrana buccopalatini также говорит о возможности увеличения амплитуды открывания рта путем переднеventрального поворота maxillare по сравнению с семгой. Примеры различной степени слияния длинного lig. articulomaxillare и сухожилий m. adductor mandibulae были обнаружены у некоторых представителей отряда корюшкообразных Osmeriformes, таких как *Retropinna retropinna* и *Hypomesus pretiosus* [4]. С другой стороны, формирование укрепленного места окончания единого соединительнотканного тяжа (lam + t2) (рис. 1) своим топографическим расположением на maxillare напоминает функциональные решения для фиксации положения головки maxillare относительно пальцевидного отростка palatinum, имеющиеся у Teleostei с выдвигаемым челюстным аппаратом [1, 5, 6]. Таким образом, присутствие у мальмы этих оригинальных признаков морфологии висцерального аппарата, по-видимому развившихся независимо, говорит о наличии новых функциональных требований: увеличения степени подвижности maxillare и необходимости более тонкого контроля его движений в ходе захвата добычи в сравнении с другими родами Salmoninae, что вероятно имело значение при дифференцировке форм гольцов озера Кроноцкое по способу питания.

#### **Условные обозначения**

A2a, A2b – subdivisio rostrata portio A2 m. adductor mandibulae, ana – anguloarticulare, ap – m. adductor arcus palatini, apd – anonevrosis terminalis m. dilatator operculi, apm – aponeurosis maxillaris portio A2 m. adductor mandibulae, art – articulatio palatinum et cartilago ethmoideum, clp – хрящевой латеральный вырост os palatinum, eth – ectoethmoideum, ftc – fascis textus conjunctivus, hm – hyomandibulare, io- interoperculum, lam – lig. articulomaxillare, lap – m. levator arcus palatini, li – labia inferior, lio – lig. interoperculomandibulare, lmo – lig.

metapterygoideum, lo – m. levator operculi, lpm – lig. palatamaxillare, mmb – marsupium membrana buccopalatini, ms – membrana suspensorii, mt – metapterygoideum, mx – maxillare, o – operculum, ob – orbitosphenoideum, pal – palatinum, prmx – premaxillare, pt – pteroticum, ptm – posttemporale, pul – pulvinar, r. mand. V – ramus mandibularis nervus trigeminus (V), so – suboperculum, sph – sphenoticum, sy – symplecticum, t1 – tendo subdivisio A2a portio A2 m. adductor mandibulae, t2 - tendo subdivisio A2b portio A2 m. adductor mandibulae, t3 – tendo aponeurosis maxillaris portio A2 m. adductor mandibulae.

### Список литературы

1. Datovo A., Vari R.P. 2013. The jaw adductor muscle complex in teleostean fishes: evolution, homologies and revised nomenclature (Osteichthyes: Actinopterygii) // PloS one. V. 8. № 4. e60846.
2. Громова Е.С., Махотин В.В. 2016. Функциональная морфология висцерального аппарата сёмги *Salmo salar* (Salmonidae) // Вопр. ихтиол. Т. 56. № 4. С. 410 - 426.
3. Sanford C.P.J. 2000. Salmonoid fish osteology and phylogeny (Teleostei: Salmonoidei) // Thes. Zool. V. 33. A.R.G. Gantner Verlag KG. Liech. P. 1–264.
4. Williams Robert R.G. 1997. Bones and muscles of the suspensorium in the galaxioids and *Lepidogalaxias s alamandroides* (Teleostei: Osmeriformes) and their phylogenetic significance // Rec. Austral. Mus. V. 49. №2. P. 139–166.
5. Yabe M. 1985. Comparative osteology and myology of the superfamily Cottoidea (Pisces: Scorpaeniformes) and its phylogenetic classification // Mem. Fac. Fish Hokkaido Univ. V. 32. P. 1–130.
6. Stiassny M.L.J. 1986. The limits and relationships of the acanthomorph teleosts // J. Zool. Lond. B. V. 1. P. 411 – 460.



## Элементный состав мягких тканей *Rapana venosa* (Gastropoda) на северо-восточном побережье Черного моря.

**Колочкина Галина Антоновна<sup>1</sup>, Косьян Алиса Рубеновна<sup>2</sup>,  
Будько Дмитрий Федорович<sup>1</sup>, Панькова Елизавета Сергеевна<sup>3</sup>,  
Паньков Сергей Леонидович<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>-ИО РАН, г. Москва; <sup>2</sup>- ИПЭЭ, г. Москва; <sup>3</sup> – МГУ, г. Москва; <sup>4</sup>- ООО «Морской клуб», г. Анапа.

Тяжелые металлы – одни из наиболее опасных загрязнителей морской среды из-за высокой токсичности, а также способности, не принося вреда отдельным группам животных, накапливаться в пищевой цепи. В Черноморском регионе большинство биоиндикаторных исследований, связанных с определением содержания ТМ в морских организмах было сосредоточено на рыбах и двустворчатых моллюсках. Однако еще один промысловый вид черноморских донных организмов – брюхоногий моллюск *Rapana venosa* незаслуженно остается без внимания. Этот вид вселился в Черное море в 1940-х гг. Рапаны – эврибионтные выборочные хищники отличающиеся быстрой скоростью роста и высоким репродуктивным потенциалом – быстро распространились по прибрежной зоне и оказали значимое воздействие на местные донные экосистемы (Кучерук и др., 2002). Главным пищевым объектом этих животных являются двустворчатые моллюски – доминанты черноморских прибрежных экосистем. Поэтому снижение запасов многих диких и культивируемых двустворчатых моллюсков во второй половине XX века в Черном море часто связывают с появлением рапаны (Кучерук и др., 2002). Кроме того, с 1980-х гг. рапана стала популярным промысловым видом (Konsulova et al., 2002). Ежегодные уловы рапаны в Турции и Болгарии составляют около 13000 т/г (Sahin et al., 2009). На Российском побережье Черного моря промысел рапаны носит кустарный характер и соответственно же осуществляется и контроль качества. Поэтому настоящее исследование посвящено оценке элементного состава тканей рапан на черноморском побережье Кавказа, оценке соотношения содержания ТМ и мягких тканях и оценку биоаккумуляции некоторых элементов в пищевой цепи мидия (*Mytilus galloprovincialis*) – рапана.

### Материалы и методы

Проведен анализ содержания 61 элемента в мягких тканях промыслового брюхоногого моллюска *Rapana venosa* в двух районах северо-восточного побережья – в районе впадения р. Сукко и р. Ашамба (Голубая бухта) под руководством Карандашева В.К. (ИПТМ РАН) атомно-эмиссионным (iCAP-6500, Thermo Scientific, USA) и масс-спектральным (X-7, Thermo Elemental, USA) методами анализа. Пробы были собраны в декабре 2015 г. в районе Голубой бухты и в начале марта 2016 г. в районе р. Сукко. Река Сукко в среднем течении протекает недалеко от места строительства терминала газопровода Южный поток. Река Ашамба протекает по горной местности и в районе произрастания виноградников. Нижнее течения обеих рек находятся в высоконагруженных рекреационных районах – пос. Сукко и пос. Голубая бухта, что обуславливает высокую вероятность поступления в них бытовых стоков. Возраст рапан составлял 2-10 лет. Возраст рапан определяли подсчетом остановок роста на поверхности раковины, возраст мидий был заранее известен, т.к. выбранные экземпляры относились к культивируемым объектам.

Для железа, марганца, никеля, меди, кобальта, хрома, цинка и свинца с использованием атомно-адсорбционной спектрометрии была проведена оценка содержания этих элементов в мягких тканях рапан и мидий (без разделения на органы) в районе р. Сукко на глубине 25 м. Возраст мидий – 2 года, возраст рапан в данной выборке – 4-8 лет.

Статистическую обработку данных проводили в программах Statistica 11.0 и Primer 6.0.

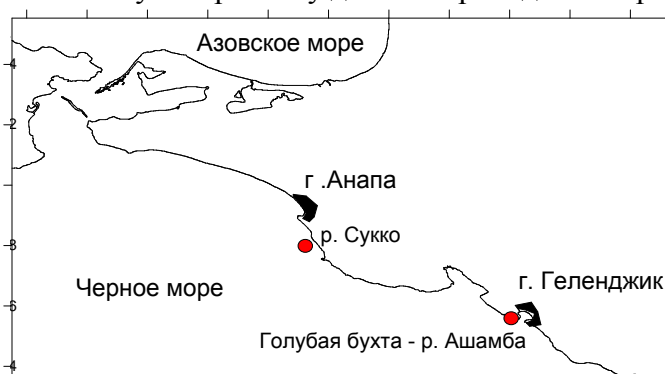


Рис. 1. Схема районов исследования. Точки отбора проб обозначены красным.

### Результаты и обсуждение

Многомерный анализ полученных данных не позволил выделить достоверные группировки рапан по району исследования (рис. 2). Большинство моллюсков имели сходные концентрации металлов, однако около половины рапан из Голубой бухты высокодостоверно отличались от всех других экземпляров (ANOSIM  $R=0.973$ ,  $p=0.1\%$ ). Сходство внутри группы I было обеспечено более, чем 15-ю элементами, а в группе II сходство на 25 процентов обеспечивали Se и Cd. Содержание кадмия в точках группы II составляло 11-40 мкг/г сух. веса. Различия между группой I и II обеспечивалось на 15% ртутью, молибденом и кадмием. А различия между группами I и III и II и III на 20 и более % обеспечивали торий, алюминий и титан.

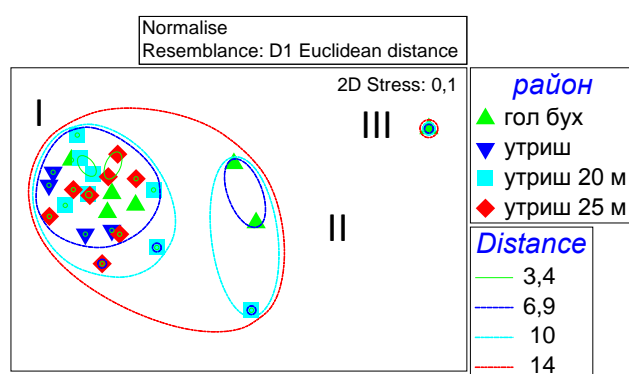


Рис. 2. Диаграмма результатов анализа нормализованных данных по содержанию ТМ в мягких тканях рапан методом многомерного шкалирования.

Были выявлены корреляции (рис. 3) между возрастом моллюсков и содержанием в их тканях олова (непараметрический критерий Спирмана  $R = 0.66$ ), таллия ( $R = -0.63$ ) и ртути ( $R = 0.45$ ).

Выявлено превышение санитарных норм для пищевых нерыбных объектов промысла по **мышьяку** в 14% случаев (до 1.1 раз превышало нормы СанПин) и **кадмию** в 71% случаев (до 1.68 СанПин) в Голубой бухте. В районе Сукко было также превышено содержание **мышьяка** в 45% случаев (до 2.05 СанПин) и **кадмия** в 65% случаев (до 5.08 СанПин), а

также содержание меди (1.43 СанПин) у одного экземпляра. При этом, значения концентрации меди, свинца, цинка в обоих районах были в несколько раз ниже, чем в южной части Черного моря, а концентрация кадмия варьировала в значительно больших пределах, чем на турецкой акватории бассейна, где она не превышала 5 мкг/г сух. веса или 1.5 мкг/г сыр. веса (Ozturk, Ozturk, 1994; Bat et al., 2000).

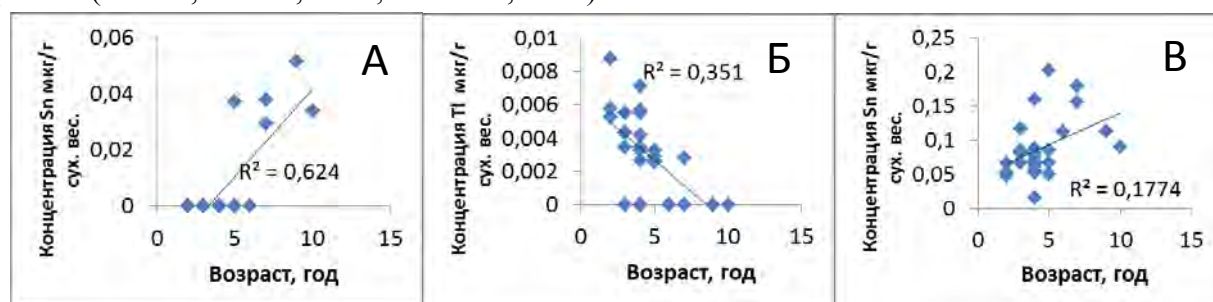


Рис. 3. Содержание олова (А), таллия (Б) и ртути (В) в мягких тканях в зависимости от возраста рапан.

Значения концентраций кадмия, меди и мышьяка у исследованных особей также в несколько раз превышали концентрации этих элементов в черноморских мидиях (Демина, Будько, 2014), что может указывать на возможную биоконцентрацию этих элементов рапанами.

Таблица 1. Превышение санитарных норм для пищевых нерыбных объектов промысла в рапанах в на северо-восточном побережье Черного моря.

ТМ	СанПин	Голубая бухта				Сукко			
		% превыш. СанПин	средн. Превышение СанПин	Ст.откл.	max	% превыш. СанПин	средн. Превышение	Ст.откл.	max
Cu	30	0	0.29	0.05	0.36	5	0.31	0.32	1.43
Zn	200	0	0.12	0.04	0.21	0	0.13	0.04	0.21
As	5	14	0.91	0.08	1.01	45	1.02	0.40	2.05
Cd	2	71	1.23	0.48	1.68	65	1.51	1.04	5.08
Hg	0.2	0	0.14	0.04	0.21	0	0.09	0.03	0.20
Pb	10	0	0.007	0.003	0.010	0	0.010	0.007	0.030

Для проверки гипотезы биоконцентрации рапанами некоторых элементов было проведено дополнительное исследование содержания некоторых ТМ в мягких тканях рапан и их основного пищевого объекта – мидии в районе Сукко, где было отмечены максимальные превышения СанПин. Моллюски были собраны в непосредственной близости друг от друга в одно время.

В мягких тканях мидий было достоверно выше железа и марганца, чем в тканях рапан, а концентрация меди и кадмия – выше в рапанах (Mann-Whitney U Test  $p < 0.05$ ), содержание других ТМ достоверно не отличалось. Кроме того, концентрация ТМ в мидиях не превышала норм СанПин и была сходной с литературными данными по Голубой бухте (Демина, Будько, 2014). Таким образом, в пищевой цепочке мидия-рапана в районе р. Сукко для меди и кадмия, коэффициенты биоконцентрации составляли 6 и 4.5 (сух. вес). Для уточнения распространенности данного явления на побережье планируется дальнейший анализ тканей рапан и мидий из Голубой бухты.

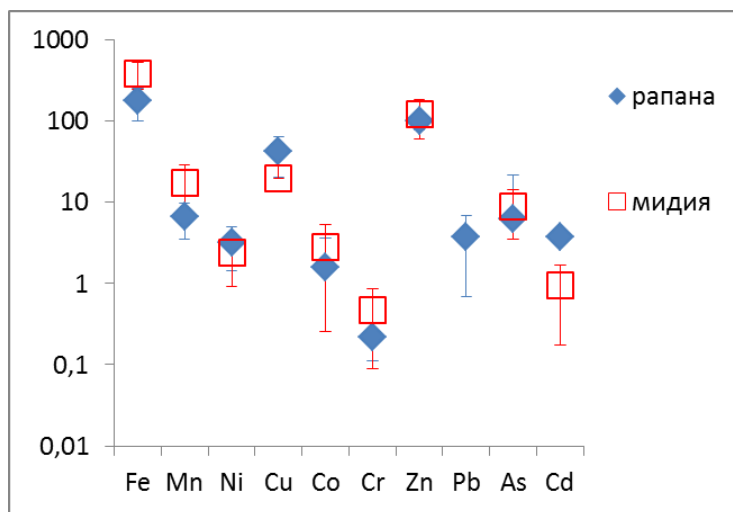


Рис. 4. Концентрации ТМ в мягких тканях мидий и рапан в районе р. Сукко.

Авторы чрезвычайно признательны Карандашеву В.К. за проведение анализа широкого спектра элементов в тканях моллюсков, а также Семину В.Л. (ИАЗ ЮНЦ РАН) и Симаковой У.В. (ИО РАН) за помощь в сборе материала.

Работа поддержана грантом РФФ № 17-14-00382.

### Список литературы

«Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.11.2001 г., с 1 июля 2002 г.

Bat, L., Gonlaigiir, G., Andae, M., Öztürk, M., & Oztürk, M. (2000). Heavy metal concentrations in the sea snail *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) from Sinop coasts of the Black Sea. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 6(3).

Konsulova Ts., V. Tasev, V. Todorova, and A. Konsulov, The effect of bottom trawling on mussel beds along the Bulgarian Black Sea coast, *Proceedings of the Second International Conference Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: Similarities and Differences of Two Interconnected Basins 14–18 October 2002*, Tübitak, Turkey, Yilmaz, ed., 2003, pp. 888–896.

Öztürk, M., & Öztürk, M. (1994). Some heavy metal levels of the sea snail (*Rapana venosa* Valenciennes, 1846) collected from Sinop coasts of the Black Sea. *Turk. J. Zool*, 18, 193-198.

Sahin C., H. Emiral, I. Okumus, A.M. Gozler, F. Kalayci, and N. Hacimurtezaoglu, The Benthic exotic species of the Black Sea: blood cockle (*Anadara inaequalis*, Bruguiere, 1789: Bivalve) and Rapa whelk (*Rapana thomasiana*, Crosse, 1861: Mollusc), *J. Anim. Vet. Adv.* 8 (2009), pp. 240-245.

Демина Л.Л., Будько Д.Ф. Микроэлементы в карбонатной биоминерализации на примере *Bivalvia Mytilus* spp. из литорали Черного моря// *Фунд. иссл.* 2014. №11. С. 2185-2189.

Кучерук Н.В., Басин А.Б., Котов А.В., Чикина М.В. 2002. Макрозообентос рыхлых грунтов северокавказского побережья Черного моря: многолетняя динамика сообществ // *Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря*. Ред. Зацепин А.Г., Флинт М.В. М: Наука. С.289-297.

## **Первые данные о многоклеточном мейобентосе из северо-восточной части Карского моря.**

**Портнова Дарья Андреевна, Гарлицкая Леся Анатольевна, Кондарь Дарья Викторовна.**

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова Российской Академии Наук, г. Москва*

Мейофауна Арктического шельфа довольно слабо изучена. По сравнению с макробентосом, исследование мейобентоса в арктических морях России проводилось крайне неравномерно. Мейофауна Баренцева, Печорского и Белого морей была детально изучена (Мокиевский 2009; Alexeev, Galtsova 2012), тогда как в Восточном секторе Северного Ледовитого океана было проведено значительно меньше исследований (Шереметевский 1987; Голиков и др. 1994; Pogrebov 1997; Гальцова, Кулангиева 2001). Сведения о распределении мейофауны в Карском море незначительны. В южной части Карского моря обширные исследования были сосредоточены на изучении сообщества известковых бентосных фораминифер (Polyak et al 2002). Качественный состав и количественное распределение мейобентоса в Карском море было изучено только на захоронении радиоактивных отходов вдоль восточного побережья архипелага Новая Земля от зал. Абросимова до зал. Степового и в районе Новоземельской впадины (Гальцова и др. 2004; Pogrebov et al 1997). Особое внимание было уделено оценке влияния радиоактивного загрязнения на сообщество мейобентоса (Galtsova, Alexeev 2009; Alexeev, Galtsova 2012). Подъем общего уровня инвентаризации биоразнообразия мейобентоса во многих регионах является крайне актуальной задачей для фундаментальных и прикладных задач гидробиологии.

В задачу наших исследований входило описание пространственной структуры и выявление особенностей таксономического состава сообщества многоклеточного мейобентоса в северо-восточной части Карского моря. В рамках междисциплинарного проекта по изучению акватории Карского моря было проведено 6 рейсов с 2007 по 2016 гг. В сентябре 2015 г состоялся 63 рейс НИС Мстислав Келдыш. Один из разрезов был расположен в северо-восточной части Карского моря, от 75<sup>0</sup> до 80<sup>0</sup> С.Ш. Разрез проходил по шельфу и затрагивал южную оконечность желоба Воронина. Материал был собран с глубин 52 – 335 м на семи станциях, положение и основные характеристики представлены на рис. 1. Пробы мейобентоса отбирали трубкой Неймисто. По 4 подпробы на 1 станцию. Для изучения количественных характеристик мейобентоса на каждой станции было отобрано по две колонки грунта площадью 3 см<sup>2</sup> на глубину 5 см от поверхности осадка. Каждая проба фиксировалась забуфференным на фильтрованной морской воде 4% формалином. В лаборатории все мейобентосные пробы были окрашены красителем «Бенгальская роза» и промыты на сите с ячейёй 42 мкм. Для экстракции организмов из проб был применен метод центрифугирования в градиенте плотности водного коллоидного раствора силикатов (LEVASIL<sup>®</sup>) (McIntyre, Warwick 1974). Гранулометрический состав грунта определен на лазерном гранулометре «Analizeter-22» (аналитик И.А. Семенов, ИГЕМ, РАН), содержание гумуса определяли методом бихроматного окисления по И.В.Тюрину с фенилантрониловой кислотой с титриметрическим окончанием (аналитик А.А. Усачева, ИГЕМ, РАН).

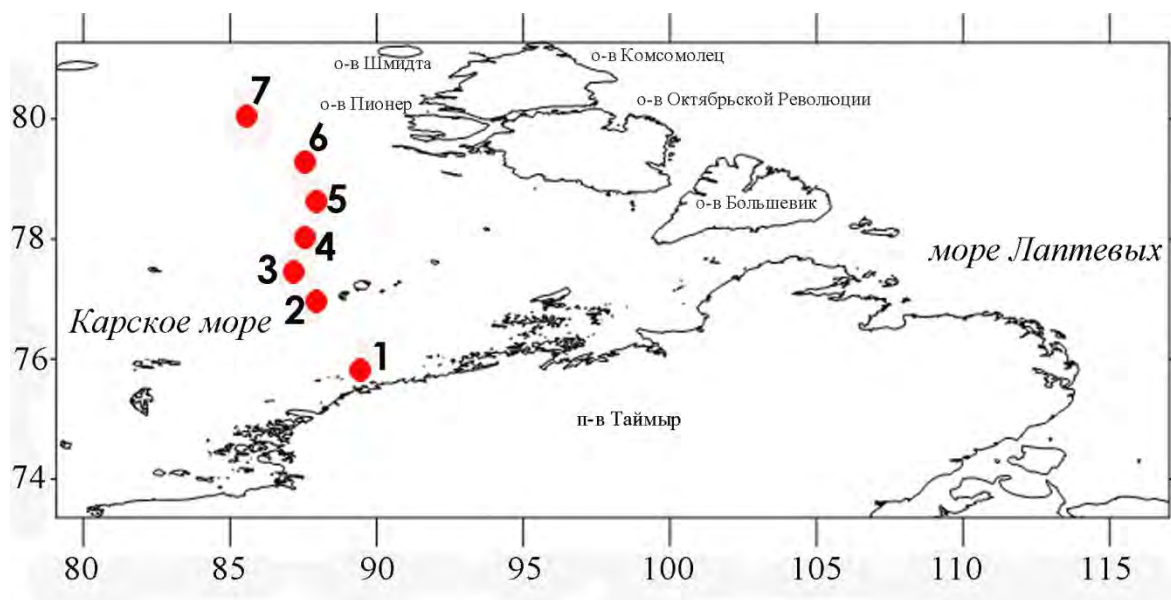


Рис. 1. Карта станций.

### 1. Таксономический состав мейобентоса

В составе мейобентоса зарегистрировано 11 таксонов высокого ранга. Таксономическое разнообразие мейобентоса увеличивается с глубиной (Рис. 2). Максимальное кол-во таксонов отмечено на глубине 241 м (ст.5), минимальное на 52 м (ст.1).

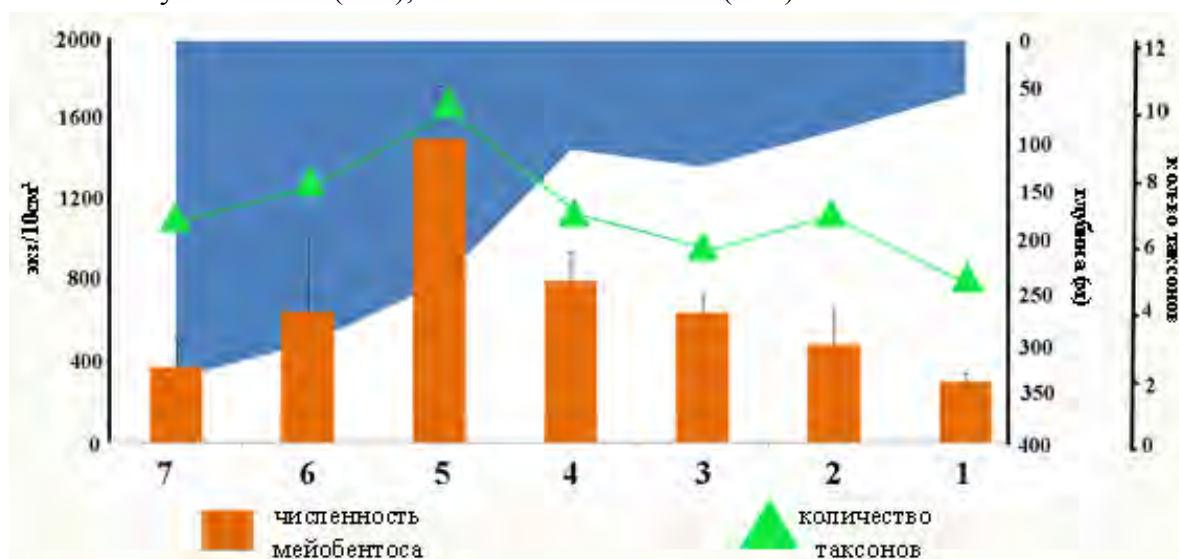


Рис. 2. Количественные и качественные характеристики мейобентоса на всех станциях разреза.

Доминирующим таксоном среди многоклеточного мейобентоса являются *Nematoda* (89% от общего обилия). Второй по обилию группой выступают *Naupacticoida* (7% от общего обилия), третье место занимают ювенильные особи *Polychaeta* (2%). Роль нематод существенно не изменяется на всем диапазоне глубин разреза. Высокая численность гарпактикоидных копепод наблюдается в глубоководной части разреза (ст. 5, 6, 7). Осадки там представляют собой мелкозернистый несортированный заиленный песок и пелитовый ил с высоким содержанием органического вещества. Изоподы были отмечены только на грубозернистых осадках с включениями железо-марганцевых корок на шельфе (ст. 2, 3). Остракоды и губки (*Boreohydra* sp.) были найдены на всем разрезе, кроме станции 4 и



предпочитают насыщенные органикой осадки. Киноринхи обнаружены на глубинах от 100 м, в незаиленном осадке с низким содержанием С орг. Тихоходки были отмечены только на ст. 5. Ювенильные стадии двустворчатых моллюсков регистрируется на всех станциях, кроме самой мелководной (ст. 1). Увеличение биомассы двустворок положительно коррелирует с содержанием илистой фракции в осадке (Рис. 3).

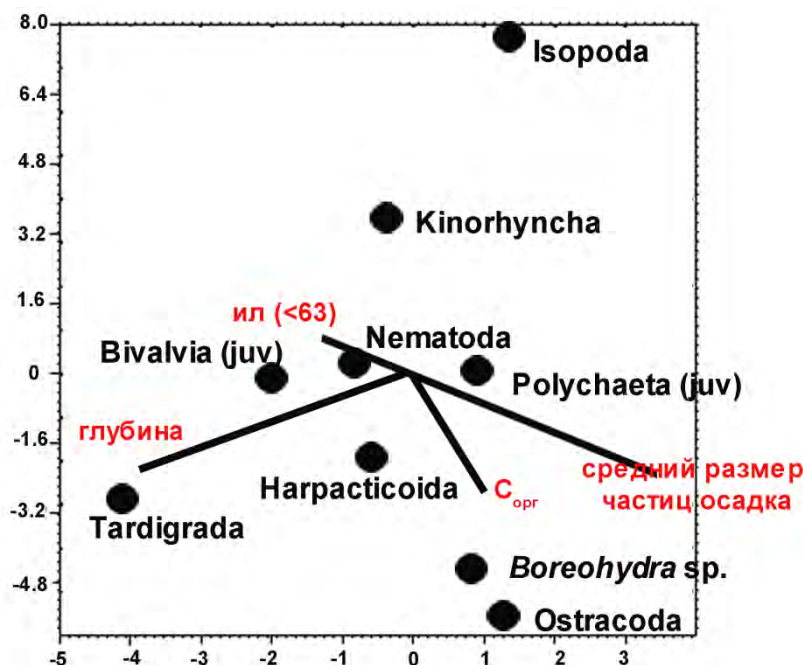


Рис. 3. Факторы окружающей среды и таксоны мейобентоса.

На разрезе можно выделить две области с противоположными характеристиками. Первая область это станция 1 (52 м) с низкой плотностью поселения мейофауны и низким разнообразием. Низкое содержание кислорода в осадке, крупный грунт, активная придонная гидродинамика являются наиболее очевидными факторами, влияющими на количественные и качественные характеристики мейобентоса на самой мелководной станции. Именно здесь, на глубине около 50 м, проходит орографический барьер. Пик численности и разнообразия мейобентоса совпадает с областью максимальной гипсометрической кривой рельефа морского дна (переход от шельфа к склону, ст. 5, 240 м). Гидрологическая структура водной толщи на изгибе склона, высокая концентрация взвешенных веществ вблизи дна, заиленные мелкозернистые грунты, высокая концентрация кислорода в осадке положительно влияют на мейофауну. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-50-00095 (сбор и обработка проб мейобентоса), а также гранта РФФИ №14-17-00681 (таксономический анализ мейофауны, математическая статистика).

### Список литературы

1. Гальцова В.В. Кулангиева И.В. Класс Nematoda // Исследования фауны морей / БИ Сиренко (ред.): Список видов свободноживущих беспозвоночных Евразийских морей и прилежащих глубоководных частей Арктики. 2001. Т. 51. №. 59. С. 44-51.
2. Гальцова В.В., Кулангиева Л.В., Погребов В.Б. Мейобентос из районов бывшего ядерного полигона и мест захоронения радиоактивных отходов вокруг архипелага Новая Земля (Баренцево и Карское моря) // Биология моря. 2004. Т. 30. №4. С. 263-271.



3. Голиков А.Н., Гагаев С. Ю., Гальцова В.В., Голиков А.А., Дантон К., Менишуткина Т.В., Новиков О.К., Петряшев В.В., Потин В.В., Сиренко Б.И., Шонберг С., Владимиров М.В. Экосистемы, флора и фауна Чаунской губы Восточно-Сибирского моря // Исследования фауны морей. 1994. Т.55. С. 129.
4. Мокиевский В.О. Экология морского мейобентоса. М.: Т-во научных изданий КМК, 2009. 286 с.
5. Шереметевский А.М. Роль мейобентоса в биоценозах шельфа южного Сахалина, восточной Камчатки и Новосибирского мелководья // Исследования фауны морей. 1987. Т. 35. № 430. 134 с.
6. Alexeev D., Galtsova V. Effect of radioactive pollution on the biodiversity of marine benthic ecosystems of the Russian Arctic shelf // Polar Science. 2012. V. 6. P. 183-195.
7. Galtsova V.V., Alexeev D.K. Benthic communities of Russian Arctic Seas under radioactive pollution condition // Radioprotection. 2009. V.44 (5). P. 713-718.
8. McIntyre A.D., Warwick R.M.. 1984. Meiofauna techniques // Methods for the study of marine benthos. Oxford: Blackwell. P. 217–244.
9. Pogrebov V.B., Fokin S.I., Galtsova V.V., Ivanov G.I. Benthic communities as influenced by nuclear testing and radioactive waste disposal off Novaya Zemlya in the Russian Arctic // Marine pollution bulletin. 1997. V. 35. № 7. P. 333-339.
10. Polyak L., Korsun S., Febo L.A., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B.E., Lubinski D.J. 2002 Benthic foraminiferal assemblages from the Southern Kara sea, a river-influenced Arctic marine environment // The Journal of Foraminiferal Research. 2002. V.32. № 3. P. 252-273.

**Использование метода видеорегистрации для изучения вертикального распределения зоопланктона Белого моря в ходе студенческой практики.**

**Прудковский Андрей Андреевич, Бондарь Николай Игоревич, Зарубина Юлия Михайловна, Каримова Нелля Ринатовна, Купаева Дарья Михайловна, Найденова Анастасия Дмитриевна, Пронкина Кира Олеговна, Шиян Александра Сергеевна**  
*МГУ имени М.В.Ломоносова, биологический факультет*

Классические методы изучения количественного распределения организмов в море необычайно трудоёмки. При этом основным недостатком большинства методов - это дискретность полученных данных. Дискретность данных при изучении распределения зоопланктона методом сетных сборов ограничивает нас в исследовании многомасштабной изменчивости зоопланктона или особенностей микрораспределения организмов, выявлению тонких слоёв водной толщи с высокой концентрацией организмов. Метод видеорегистрации зоопланктона позволяет получать непрерывные ряды данных.

В нашей работе мы использовали камеру GoPro Hero 4, оснащённую двумя макролинзами (x3,5 и x12,5) для изучения вертикального распределения зоопланктона Белого моря в акватории биостанции им. Н.А.Перцова. Одновременно с видеорегистрацией зоопланктона были собраны сетные пробы зоопланктона, а также получены профили изменения температуры и солёности с глубиной с помощью гидрологического зонда STD CastAway. Для анализа вертикального распределения были выбраны два массовых таксона - веслоногие рачки *Calanus glacialis* и *Acartia* spp. (*A.longiremis* и *A.bifilosa*). Выбранные виды веслоногих ракообразных было просто идентифицировать на видеоматериале, так как они составляли около 100% зоопланктона в своей размерной категории.

Вертикальное распределение веслоногих рачков *Calanus glacialis* исследовали 6 июля 2016 г в акватории биостанции ББС им. Н.А.Перцова, на станции, где была обнаружена высокая численность рачков (1523 экз./м<sup>3</sup>). Устройство с камерой и источником света опускали при помощи лебёдки с постоянной скоростью около 10 см/сек до глубины 60 м. Положение камеры (глубину) в каждый момент времени оценивали при помощи гидрологического зонда STD Star Oddi. Съёмка велась с частотой 120 кадров в секунду, с разрешением 720x1928 пикселей, с узким полем зрения камеры. Видеоматериал просматривали на замедленной скорости и подсчитывали численность рачков на разных глубинах с детализацией 1 м.

Рачки *C.glacialis* не встречались у поверхности моря над градиентами температуры и солёности (термо- и гало- клином). Рачки начинали встречаться только в нижней части термо- и гало- клинов при температуре 6 градусов и солёности 26 промилле (рис. 1). Причём наибольшее количество рачков концентрировалось у нижней границы термо- и гало- клинов на глубинах 25-29 м. Глубже численность плавно снижалась. Высокая численность рачков на глубине 31-32 м связана с остановкой видеокамеры на данном горизонте на 30 сек.

Вертикальное распределение веслоногих рачков рода *Acartia* исследовали в мелководном, частично изолированном от моря водоёме "озеро на Зелёном мысу" (Краснова и др., 2013). На видеоматериале рачки рода *Acartia* встречались глубже градиентов температуры и солёности. Наибольшее количество рачков было сконцентрировано на глубине 4-5 м, поблизости от "красного слоя" - слоя воды с высокой концентрацией криптофитовых водорослей *Rhodomonas abbreviata* (Краснова и др., 2013). По-видимому, рачки питаются этими водорослями.

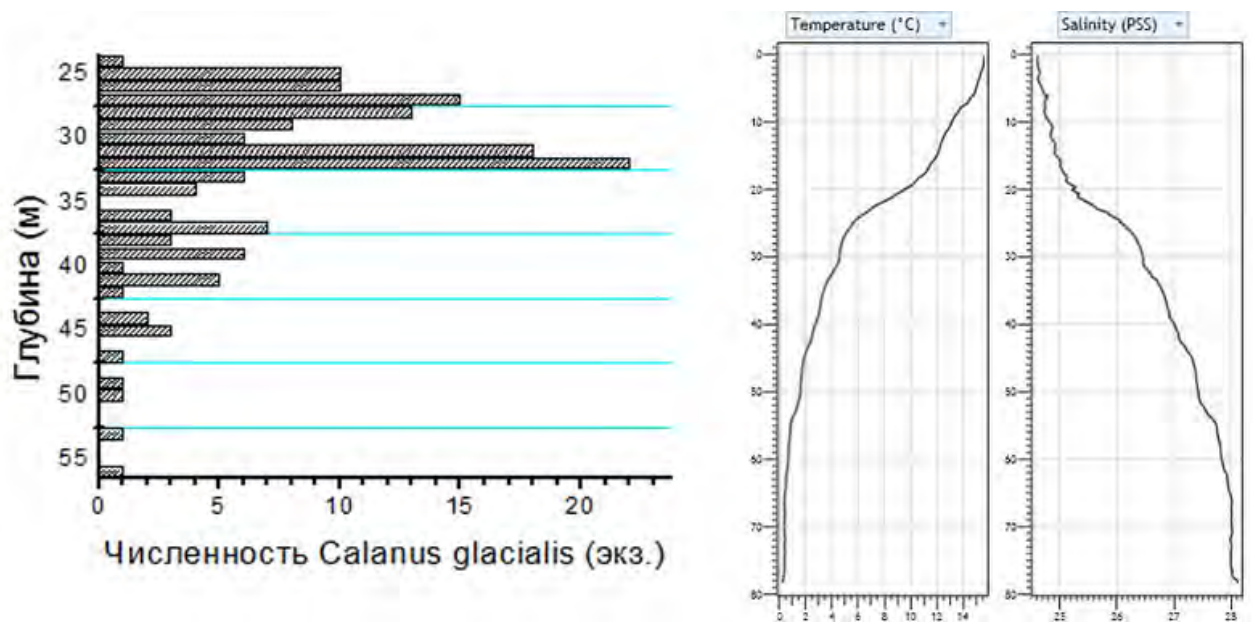


Рис. 1. Изменение численности веслоногих ракообразных *Calanus glacialis*, а также температуры и солёности с глубиной.

## Оценка экологического состояния эстуариев с помощью биомаркеров рыб.

**Руднева Ирина Ивановна, Скуратовская Екатерина Николаевна, Чеснокова Ирина Игоревна**

ФГБУН Институт морских биологически исследований им. А.О. Ковалевского РАН,  
г. Севастополь

Эстуарии относятся к уникальным водным экосистемам, имеющим важное природное и экономическое значение, так как они характеризуются обширным видовым разнообразием, являются местами нереста гидробионтов (Fonseca et al., 2011; Pasquaud et al., 2013). Одновременно они подвергаются сильному антропогенному воздействию в результате хозяйственной деятельности человека на берегах и в акватории, что в значительной степени ухудшает состояние экосистемы и негативно влияет на ее обитателей. В связи с этим мониторинговые исследования таких водных объектов являются важными и актуальными. Особый интерес представляют рыбы и их ответные реакции на изменение природных и антропогенных факторов и их комплексного воздействия. Целью настоящей работы явился сравнительный анализ некоторых биохимических параметров – биомаркеров, характеризующих состояние четырех видов бычков, отловленных в эстуарии реки Черной близ г. Севастополя. В качестве биомаркеров использовали показатели активности ферментов антиоксидантной системы и аминотрансфераз в мышцах рыб.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследований служили четыре вида бычков: бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) (Perciformes: Gobiidae, n=21), бычок-травяник *Gobius (Zosterisessor) ophi ocephalus* (Pallas, 1814, n=24), дальневосточный бычок (*Tridentiger trigonocephalus* Gill, 1859, n= 2) и бычок-рыжик *Ponticola (Neogobius) eurycephalus* (Kessler, 1874, n= 14 ). Рыб отлавливали в весенний период в эстуарии реки Черной, расположенном в районе г. Севастополя.

Материалом исследования служили образцы мышц рыб. Ткани извлекали на холоду, гомогенизировали и центрифугировали при 8000g. В супернатантах определяли активность четырех антиоксидантных (АО) ферментов согласно методам, описанным нами ранее (Rudneva, 2012). Активность каталазы (КАТ) анализировали по реакции разложения перекиси водорода, супероксиддисмутазы (СОД) - в системе нитросиний тетразолий-феназинметасульфат-НАДН, глутатионредуктазы (ГР) – по реакции деградации НАДФН, глутатионтрансферазы (ГТ) – по накоплению конъюгата в присутствии 2,4-динитрохлорбензола. Все определения проводили на спектрофотометре Specol -211 (Carl Zeiss, Iena, Germany). Активность ферментов рассчитывали на концентрацию белка, которую измеряли биуретовым методом с помощью стандартного набора реагентов фирмы Филисит.

Активность аминотрансфераз (аланин- (АЛТ) и аспартатаминотрансфераз (АСТ) анализировали по методу Райтмана-Френкеля с использованием стандартных наборов «Филисит» - «АсАт» и «АлАт».

Определение проводили на образцах, полученных индивидуально от каждой особи. Статистический анализ данных осуществляли с использованием t-критерия Стьюдента, вычисляли среднее арифметическое и ошибку средней. Результаты считали достоверными в случае, если  $p < 0.05$ .

## Результаты и их обсуждение

Активность антиоксидантных ферментов в мышцах исследуемых видов бычков приведена на рис. 1. Активность каталазы последовательно убывает в мышцах бычков в ряду дальневосточный бычок → травяник → кругляк → рыжик, но при этом достоверно не различается.

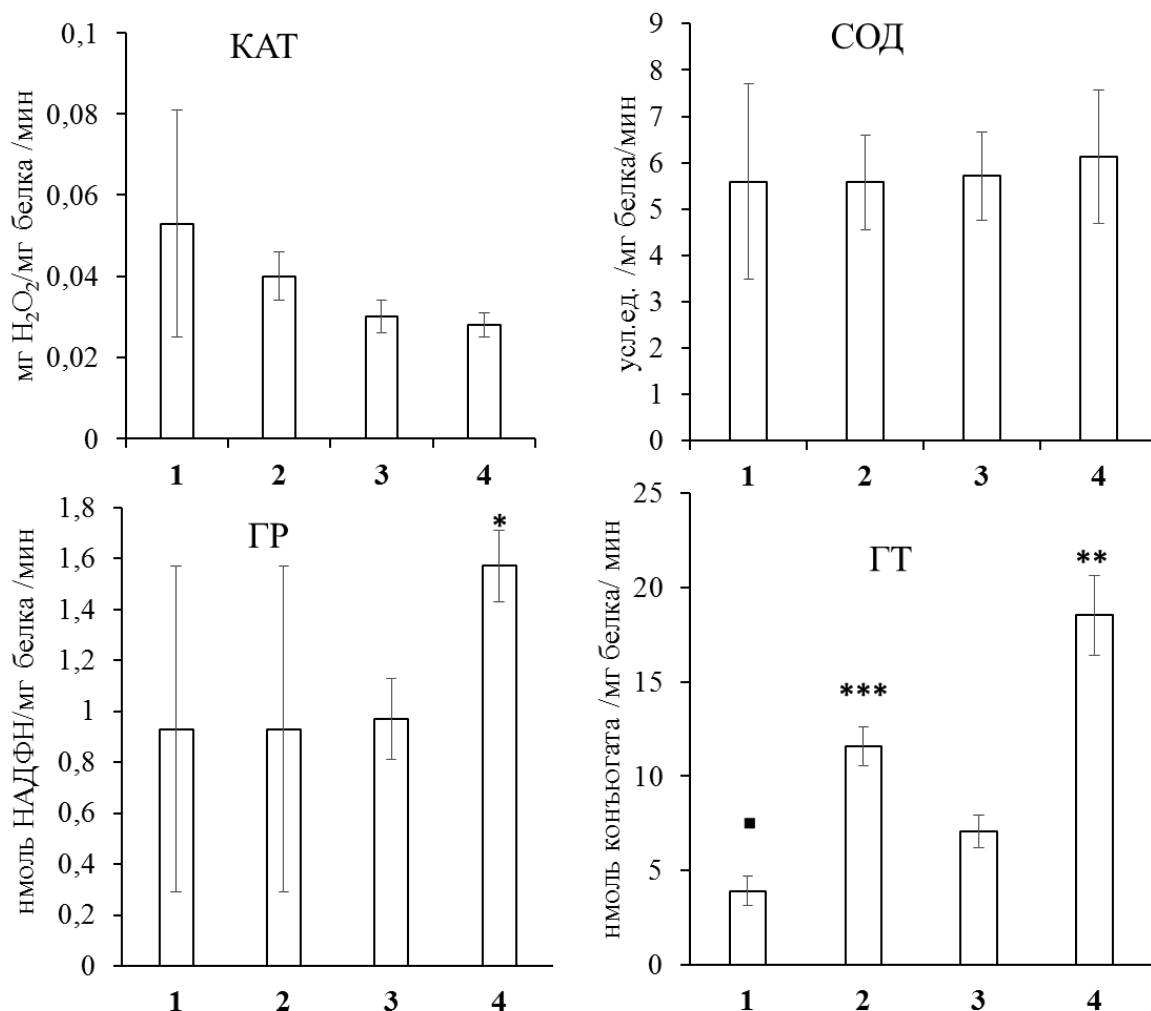


Рис. 1. Активность антиоксидантных ферментов в мышцах бычков, отловленных в эстуарии реки Черной (г. Севастополь, Черное море).

1 – дальневосточный бычок *T. trigonocephalus*, 2 – бычок травяник *Z. ophioccephalus*, 3- бычок-кругляк *N. melanostomus*, 4 – бычок рыжик *N. Euryccephalus*, \*- достоверные различия ( $p < 0.05$ ) по отношению к значениям бычка-кругляка, \*\* - достоверные различия по отношению к другим видам ( $p < 0.05$ ), \*\*\* - достоверные различия ( $p < 0.05$ ) между бычком- кругляком и дальневосточным бычком, ■ - достоверные различия ( $p < 0.05$ ) между другими видами.

Активность СОД не имеет достоверных различий в тканях исследуемых видов. Активность ГР достоверно выше в мышцах бычка-рыжика, тогда как у трех других видов она имеет сходные значения. Максимальная активность ГСТ установлена в тканях бычка-рыжика, минимальная – у дальневосточного бычка, у остальных двух видов она имеет промежуточные значения.

Активность аминотрансфераз в мышцах исследуемых видов бычков также изменялась неоднозначно (Рис. 2).

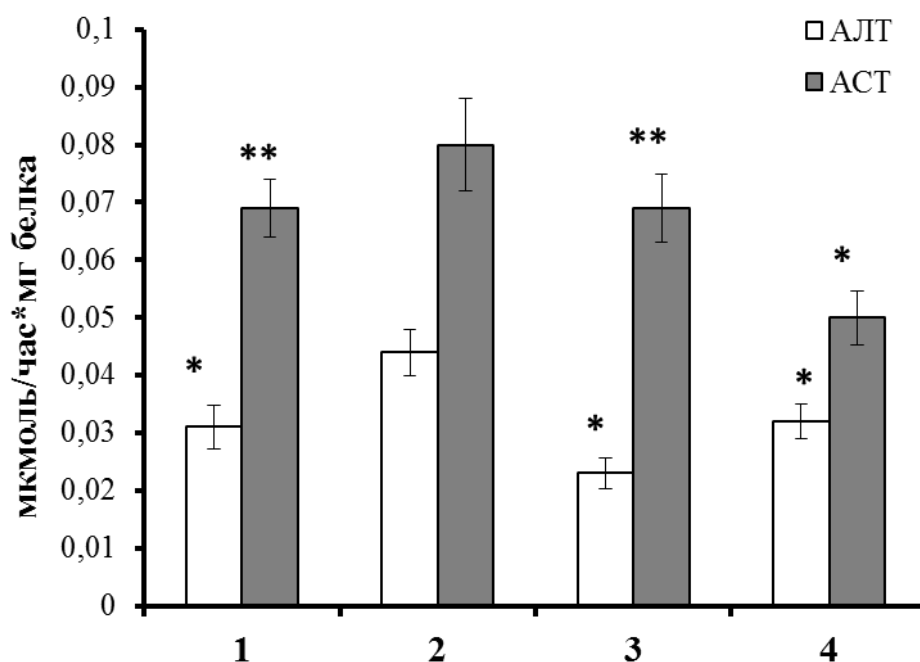


Рис. 2. Активность аминотрансфераз в мышцах бычков, отловленных в эстуарии реки Черной (г. Севастополь, Черное море).

1 – дальневосточный бычок *T. trigonocephalus*, 2 – бычок травяник *Z. ophiocephalus*, 3- бычок-кругляк *N. melanostomus*, 4 – бычок рыжик *N. Euryccephalus*, \* - различия достоверны ( $P < 0.05$ ) по отношению к значениям бычка травяника, \*\* - достоверные различия по отношению к значениям бычка-рыжика ( $p < 0.05$ ).

Как можно видеть, активность АСТ существенно превосходит активность АЛТ в мышцах всех исследуемых видов. Минимальное значение активности АЛТ установлено в мышцах бычка-кругляка, максимальное – в тканях травяника.

Таким образом, результаты исследований позволили обнаружить межвидовые различия активности исследуемых ферментов в мышцах четырех видов бычков. В то же время неотмечено существенных различий значений активности каталазы и супероксиддисмутазы в мышцах исследуемых рыб. Данные ферменты являются ключевыми в системе антиоксидантной защиты, и отсутствие различий в их активности у четырех исследуемых видов может быть обусловлено наличием определенного базового уровня прооксидантно-антиоксидантного баланса, характерного для рыб, обитающих в изменяющихся условиях среды. Такая же тенденция отмечена и для активности глутатионредуктазы в мышцах трех видов бычков, за исключением бычка-рыжика, у которого уровень фермента существенно выше. Активность фермента второй фазы детоксикации глутатионтрансферазы варьирует в большей степени, что может быть обусловлено различиями в интенсивности процессов биотрансформации у исследуемых видов бычков и, следовательно, определенными различиями в адаптационных способностях к антропогенному загрязнению в изменяющихся условиях среды обитания, характерных для эстуариев, что было отмечено и другими исследователями (Fonseca et al., 2013).

Активность аминотрансфераз в мышцах бычков также варьировала, при этом АЛТ в меньшей степени, чем АСТ. Активность АЛТ была достоверно выше в мышцах бычка травяника, тогда как у остальных видов она не различалась, что также может быть

обусловлено наличием определенного базового уровня обменных процессов у бычков, обитающих в быстро изменяющихся условиях среды. Межвидовые различия активности АСТ в мышцах были выражены в большей степени.

На основании полученных результатов можно заключить, что у четырех исследуемых видов бычков, населяющих эстуарную систему Черной речки в районе Севастополя, существует определенный базовый уровень обменных процессов и приспособлений к изменяющимся абиотическим условиям среды, включая соленость и температуру. В то же время защитные системы, к которым относятся ферменты антиоксидантной защиты и биотрансформации ксенобиотиков, имеют выраженные видовые особенности, определяющие способность рыб выживать в биотопах, испытывающих сильную антропогенную нагрузку.

### **Список литературы**

Fonseca V., França S., Serafim A., Company R., Lopes B., Bebianno M. J., Cabral H. N. (2011). Multi-biomarker responses to estuarine habitat contamination in three fish species: *Dicentrarchus labrax*, *Solea senegalensis* and *Pomatoschistus microps*. *Aquatic Toxicology*, 102 (3), 216-227

Pasquaud S., Courrat A., Fonseca V. F., Gamito R., Catarina I. Gonçalves C. I., Lobry, J., Lepage M., Costa M. J., & Cabral H. (2013) Strength and time lag of relationships between human pressures and fish-based metrics used to assess ecological quality of estuarine systems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 134, 119-127.

Rudneva I. I. (2012). Antioxidant defence in marine fish and its relationship to their ecological status. In S. P. Dempsy (Ed.), *Fish Ecology*. (pp. 31-59). New York: Nova Science Publishers.

### **Evaluation of the ecological status of estuary used the fish biomarkers**

**Rudneva I.I., Skuratovskaya E.N., Chesnokova I.I.**

Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russia

Estuaries are the specific water bodies, because they play an important role in the nature and economy. They are characterized high biodiversity and they are the nursery grounds of many aquatic organisms. Simultaneously they are affected on anthropogenic activity at their coasts and water, which strongly worsening their ecological status and the health of aquatic organisms. Therefore, the monitoring studies of these water bodies are important and actual. For this purpose fish and their response to the changes of natural and anthropogenic factors and their complex are very good test organisms. The aim of the present study was to measure several biochemical parameters – biomarkers, characterizing the health status of 4 species of gobies caught in the estuary of river Chernaya (Black Sea, Sevastopol). We studied the following biomarkers: antioxidant enzymes, activity of cholinesterase and transaminase. The interspecies differences were shown and they depend on the peculiarities of fish ecology and biology. The use of tested biomarkers in fish health and their biotops are discussed.



## **Сохранение жизнеспособности клеток микроводорослей при замораживании.**

**Харчук Ирина Алексеевна**

ФГБУН Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН,  
г. Севастополь, Россия, [seafarm@yandex.ru](mailto:seafarm@yandex.ru)

Одним из методов сохранения микроводорослей является хранение клеток в замороженном состоянии. Данный метод обеспечивает долгосрочное хранение культур с поддержанием высокой жизнеспособности. Снижение температуры приводит к замедлению всех биохимических процессов, протекающих в организме. При использовании этого метода консервации довольно редки генетические изменения, а культуры микроорганизмов, сохраняемые таким способом, оказываются менее поврежденными и имеют более высокий уровень жизнеспособности, чем при высушивании и лиофилизации [1]. Использование защитных веществ, в качестве протекторов, позволяет сохранить их длительное время и увеличить количество жизнеспособных клеток. Цель работы изучить жизнеспособность клеток микроводорослей разных таксономических отделов сохраняемых в морозильной камере длительное время.

### **Материалы и методы**

Объектами исследования были штаммы водорослей *Tetraselmis viridis* (штамм IBSS–25), *Porphyridium purpureum* (штамм IBSS–70), *Chlorella vulgaris* f. *suboblonga* - (штамм IBSS– 19) сохраняемые в отделе биотехнологии и фиторесурсов ИМБИ РАН.

Микроводоросли культивировали в накопительном режиме, при постоянном круглосуточном освещении и автоматическом перемешивании с использованием насоса для удаления избытка кислорода из среды и равномерного прогрева всего слоя питательного раствора культуры. Интенсивность света на поверхности раствора составляла 8 кЛк. Температура среды колебалась в диапазоне 25 - 29°C. В качестве питательной среды для *T. viridis*, *P. purpureum*, использовали среду Тренкеншу, для *Ch. vulgaris* - среду Тамийя. Объём среды в культиваторах составлял 5 л, при высоте слоя раствора 45 см.

На стационарной фазе роста культуры микроводорослей *T. viridis* и *Ch. vulgaris*, разделяли на три равные части и к двум из них добавляли глицерин. Конечная концентрация, которого составляла 10 и 20%. Клетки продолжали культивировать ещё в течение 24 ч. Культуру клеток *P. purpureum* делили на три равные части: к первой доле клеток добавляли 10% глицерин, как описано выше. Ко второй доле сконцентрированных клеток прибавляли их природные полисахаридами, выделенные при центрифугировании клеток, которые микроводоросли синтезировали в процессе своего роста. Третья доля клеток была заморожена без протекторов. Полученную пасту водорослей помещали в герметичные пластиковые боксы и ставили в морозильную камеру (-14°C). Перед замораживанием изымали аликвоту каждой пробы водорослей и проводили биохимические исследования. Регистрируемые показатели химического состава выражали в пересчете на сухую массу. Для определения жизнеспособности изымали часть пробы водорослей и проводили реактивацию. Срок пребывания микроводорослей в замороженном состоянии составлял для *T. viridis* – 4 мес., *Ch. vulgaris* – 7 мес., *P. Purpureum* – 2 года. Выявление живых и мертвых клеток микроводорослей проводили методом витального дифференциального окрашивания клеток, трипановым синим [2] с помощью светового микроскопа. Одновременно учитывали количество реактивируемых клеток и определяли долю жизнеспособных клеток. Под

жизнеспособностью подразумевали способность микроводорослей эндогенно поглощать краситель. Критерием жизнеспособности также был рост микроводорослей на жидких питательных средах. Для количественного учёта роста микроводорослей в культуре использовали камеру Горяева.

### Результаты и обсуждение

Анализ биохимических компонентов клеток *T. viridis*, культивируемых в течение 24 ч с глицерином разной концентрации показал, что в культуре с 10% глицерином статистически значимо увеличивалось содержание хлорофилла «а» - на 36% и соответственно суммарных хлорофиллов «а+в» - на 23%, каротиноидов - на 34%, РНК - на 33% и ДНК - на 12% по сравнению с клетками водорослей без добавок, и к которым добавляли 20% глицерин. В пробах без протектора и с 20% глицерином содержание хлорофилла «а», каротиноидов, РНК, ДНК и резервных углеводов статистически не отличались друг от друга. Так же обнаружено, что доля липидов и структурных углеводов с увеличением концентрации глицерина прибавляемого к клеткам *T. viridis* возрастала, а содержание свободных нуклеотидов (СН) наоборот снижалось.

В клетках *P. purpureum* сохраняемых без протекторов при отрицательной температуре (-14°C) отмечено, снижение содержания каротиноидов на 38% и РНК на 31%, чем в клетках с предварительно внесённым 10% глицерином. Значения остальных показателей биохимического состава у сравниваемых образцов статистически не отличались. По сравнению с культурой, замороженной с природными полисахаридами синтезируемыми клетками *P. purpureum* в процессе жизнедеятельности, снижалось содержание хлорофилла «а» на 44%, каротиноидов - на 54%, липидов - на 56%, РНК - на 19%, запасных углеводов - на 35%, структурных углеводов - на 54%. Исследование биохимических компонентов в культурах сохраняемых с полисахаридами и 10% глицерином зарегистрировало, что в клетках замороженных с 10% глицерином ниже доля хлорофилла «а» - на 38%, каротиноидов - на 26%, липидов - на 53%, свободных нуклеотидов - на 14% и структурных углеводов - на 29%, чем в клетках, заложенных на хранение с дополнительно внесёнными полисахаридами. Характерной особенностью было то, что во всех культурах, независимо от добавленного протектора так и без него, значения ДНК и белков были статистически одинаковы.

Клетки *T. viridis*, *Ch. vulgaris* и *P. purpureum* были реактивированы после 4, 7 и 12 месяцев хранения в морозильной камере. Доля клеток *T. viridis*, сохранивших продукционные свойства, в пробе без добавок составляла 3%, в пробе с 10% глицерином - 100%, с 20% глицерином - 90%. Несколько иное распределение клеток способных к делению отмечено у *Ch. vulgaris*. В пробе без добавок их доля составляла 38%, в пробе с 10% глицерином - 83%, с 20% глицерином - 100%. В культурах *P. purpureum* доля жизнеспособных клеток в пробе без добавок составляла 10%, в пробе с 10% глицерином - 30%, с экзополисахаридами - 70%.

Анализ полученных данных показал, что, в реактивированных пробах, замороженных как без протекторов, так и с протекторами, согласно классификации клеток по жизнеспособности [3], присутствуют клетки 5 типов (табл. 1), при этом разделение на 1 и 2 тип условно и для каждого вида водорослей специфично.

Такое распределение клеток связано с тем, что при низких температурах идет переход мембранообразующих липидов из жидкокристаллического состояния в гелеобразное, это приводит к образованию весьма ригидной мембранной структуры, пластичность которой

резко отличается от состояния мембран, находящихся при физиологических температурах. При замораживании, из-за растущих внеклеточных кристаллов, идет сильное сдавливание и деформация клеток, все это в конечном итоге приводит к появлению многих разрывов в бислойной структуре клеточной мембраны и "выдавливанию" белков из мембраны, соответственно к гибели клеток [4].

Таблица 1. Классификация реактивированных клеток микроводорослей по жизнеспособности сохраняемых с протекторами.

Типы жизнеспособности клеток	Доля реактивированных клеток, %								
	Без протектора			10% глицерин			20% глицерин		ЭПС
	<i>T. viridis</i>	<i>Ch. vulgaris</i>	<i>P. purpureum</i>	<i>T. viridis</i>	<i>Ch. vulgaris</i>	<i>P. purpureum</i>	<i>T. viridis</i>	<i>Ch. vulgaris</i>	<i>P. purpureum</i>
Полноценные, неповреждённые									
Слегка повреждённые, быстро восстанавливающие свои функции	3	38	10	100	83	30	90	100	70
Сильно повреждённые, медленно восстанавливающиеся	-	18	40	-	17	24	-	-	6
Необратимо повреждённые, продолжающие осуществлять нарушенный обмен веществ	-	5	35	-	-	15	5	-	15
Мёртвые	97	39	15	-	-	31	5	-	9

Глицерин, являясь проникающим криопротектором, препятствует формированию кристаллов льда за счёт образования водородных связей с молекулами воды. При определенной концентрации глицерин вызывает обезвоживание клеток, что в свою очередь, повышает концентрацию внутриклеточных коллоидов. Последние в высоких концентрациях проявляют защитные свойства: способствуют переохлаждению внутриклеточной среды и ее частичному переходу в стеклообразное состояние, исключая образование крупных, повреждающих клетки, кристаллов льда.

Ростовые характеристики реактивированных культур микроводорослей *T. viridis*, *Ch. vulgaris* и *P. purpureum* были практически идентичны контролю (культуры не подвергавшиеся замораживанию) и не зависели от протектора и его концентрации.

Таким образом, экспериментальным путём определено, что использование протекторов позволяет предохранить биохимический состав микроводорослей от деградации при низких температурах хранения. Установлено, что для сохранения высокого количества жизнеспособных клеток зелёных микроводорослей *T. viridis* и *Ch. vulgaris* при отрицательных температурах (-14°C) в качестве криопротектора для *T. viridis* лучше использовать глицерин в концентрации 10%, для клеток *Ch. vulgaris* - глицерин в концентрации 20%, для красной микроводоросли *P. purpureum* - экзополисахариды, синтезируемые самой водорослью.

#### Список литературы

1. Нечаева О.В. Поиск и использование синтетических соединений гетероциклического ряда для сохранения стабильности популяционного состава коллекционных культур микроорганизмов : Дис. ... канд. биол. наук : 03.00.07, 03.00.16 Саратов, 2004. - С. – 143.
2. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / отв. ред. А. В. Топачевский – Киев : Наук. думка, 1975. – 247 с.
3. Мейсель М. Н. О выявлении живых, повреждённых и мертвых микроорганизмов / М. Н. Мейсель, Г. А. Медведева, В. М. Алексеева // Микробиология. – 1961 – Т. 30, № 5. – С. 855–862.
4. Скорняков Б.А., Вишневский В.И. Особенности механизма крио-протекции глицерином // Криобиология и криомедицина. – 1980. – вып.6. – с. 59-62.

**Донная фауна заливов архипелага Новая Земля (Карское море).**

**Чава Александра Ивановна, Веденин Андрей Александрович,**

**Симаков Милослав Игоревич, Удалов Алексей Анатольевич,**

**Щука Сергей Александрович, Мокиевский Вадим Олегович**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

В последние десятилетия возобновились активные исследования прибрежных районов арктических морей. Особый интерес представляют заливы и фьорды, донная фауна которых в силу своей изоляции отличается от бентосных сообществ открытой части арктического бассейна.

Комплексные экологические работы в ходе экспедиций ИО РАН были проведены в 2013-2015 гг. в 125,126, 128 рейсах НИС “Профессор Штокман” и 63 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” в пяти заливах архипелага Новая Земля – Благополучия, Цивольки, Степового, Ога и Седова. Впервые была описана донная фауна заливов, проанализировано распределение бентосных сообществ внутри заливов и на внешнем склоне Новоземельской впадины.

Суммарно за три года с бортов научно-исследовательских судов было отобрано 42 донных станции с глубин 21-203 м. На каждой станции (за исключением 5 станций) было взято по 3 пробы дночерпателем Океан с площадью раскрытия 0,1 м<sup>2</sup>. Грунт промывали на сите с диаметром ячеек 0.5 мм.

Всего в заливах найдено 290 таксонов макробентоса, наибольшее разнообразие представлено моллюсками, ракообразными и многощетинковыми червями, однако в пробах встречались представители таких таксонов как мшанки, сипункулиды, иглокожие, кишечнополостные, губки и др. Основные характеристики макробентоса заливов, такие как количество таксонов, средняя плотность и биомасса, представлены в табл.1.

Таблица 1. Интегральные характеристики макробентоса заливов архипелага Новая Земля.

	з. Цивольки	з. Благополучия	З. Степового	З. Ога	З. Седова
Кол-во таксонов макробентоса	149	138	120	52	80
Средняя плотность (экз/м <sup>2</sup> )	929	1310	502	1547	2511
Средняя биомасса (г/м <sup>2</sup> )	31	68	48	70	51

В заливах Ога, Цивольки и Благополучия наблюдается снижение разнообразия макробентоса при продвижении от внешнего склона к куту залива. Так например в заливе Цивольки среднее число видов на станцию в районе внешнего склона Новоземельской впадины составляет 38 видов, в средней части залива – 19 видов, а в куту – 7 видов. Похожая тенденция видна и изменении средней биомассы и плотности бентоса в разных частях залива. Например в заливе Ога на внешних станциях биомасса составила 78 г/м<sup>2</sup>, а в куту -

всего лишь 2,5 г/м<sup>2</sup>. В заливе Благополучия средняя плотность на внешнем склоне – 1450 экз/м<sup>2</sup>, в средней части – 1370 экз/м<sup>2</sup>, а в куту – 510 экз/м<sup>2</sup>. В заливах Степового и Седова столь сильных различий в интегральных характеристиках между разными частями заливов не обнаружено.

Анализ доминирующих по биомассе видов в разных частях заливов показывает, что на уровне сообществ заливы достаточно сильно различаются между собой (табл.2).

Таблица 2. Основные доминирующие по биомассе виды в разных частях заливов архипелага Новая Земля.

	з.Цивольки	з. Благополучия	з.Степового	з.Седова	з.Ога
Внешний склон	<i>Astarte crenata</i> , <i>Scoletoma fragilis</i> , <i>Golfingia margaritacea</i>	<i>Ennucula tenuis</i> , <i>Golfingia margaritacea</i> , <i>Ophiocten sericeum</i>	<i>Astarte elliptica</i> , <i>Astarte borealis</i> , <i>Ophiacantha bidentata</i>	<i>Mendicula ferruginosa</i> , <i>Scoletoma fragilis</i>	<i>Golfingia margaritacea</i> , <i>Ophiopleura borealis</i> , <i>Astarte crenata</i>
Средняя часть	<i>Ennucula tenuis</i> , <i>Mendicula ferruginosa</i> , <i>Scoletoma fragilis</i>	<i>Ennucula tenuis</i> , <i>Portlandia arctica</i> <i>Ophiopleura borealis</i> ,	<i>Golfingia margaritacea</i> , <i>Hemithiris psittacea</i>	<i>Ophiopleura borealis</i> , <i>Golfingia margaritacea</i>	<i>Ennucula tenuis</i> , <i>Scoloplos armiger</i>
Кут	<i>Saduria sabini</i>	<i>Portlandia arctica</i> , <i>Astarte sp.</i>	<i>Golfingia margaritacea</i>	Нет кутовых станций	<i>Portlandia arctica</i>

Для того, чтобы выявить возможные связи между отдельными станциями разных заливов был проведен кластерный анализ (мера сходства – индекс Брея-Кертиса). В результате было выделено пять групп, в каждой из которых есть станции из нескольких заливов (рис.1). Все группы содержат примерно одинаковое число видов (102-157 видов). Наиболее отчетливые сообщества обнаруживаются в группах 4 и 5 – в них входят станции из заливов Цивольки, Благополучия и Степового, расположенные на внешнем склоне Новоземельского архипелага. Здесь по биомассе доминируют виды, характерные для открытых частей Карского моря, а именно так называемый “астартидный комплекс” – двустворчатые моллюски *Astarte crenata*, *Astarte elliptica* и *Astarte borealis*, офиуры *Ophiacantha bidentata* и *Ophiocten sericeum*, а также сипункулида *Golfingia margaritacea*. В остальные три группы входят станции как со внешнего склона, так и из средней и кутовой частей заливов. В группах 1 и 2 доминируют как правило двустворчатые моллюски - *Ennucula tenuis*, *Mendicula ferruginosa*, *Yoldiella lenticula* и *Yoldiella solidula*. В группе 3 сложно выделить доминирующие виды, так как входящие в нее станции оказываются крайне разнообразны по видовому составу. Разделение групп едва ли можно объяснить связью с таким фактором, как глубина расположения станции. Единственная группа с более или менее однородными глубинами – группа 4 (от 35 до 41 метра). Во всех остальных случаях в группах есть как глубоководные, так и достаточно мелководные станции. Не вошли ни в одну из групп станции, сильно отличающиеся от других по таксономическому разнообразию и видовому составу. Так например отдельно на

получившемся дереве расположены крайне бедные и характеризующиеся очень низкой биомассой кутовые станции залива Цивольки (12855) и Ога (5247).

Итак, из графика, представленного на рис. 1 следует, что в заливах карского побережья Новой Земли выявляется несколько группировок бентоса, повторяющихся от залива к заливу. Однако, под влиянием местных особенностей они модифицируются и образуют собственную пространственную мозаику.

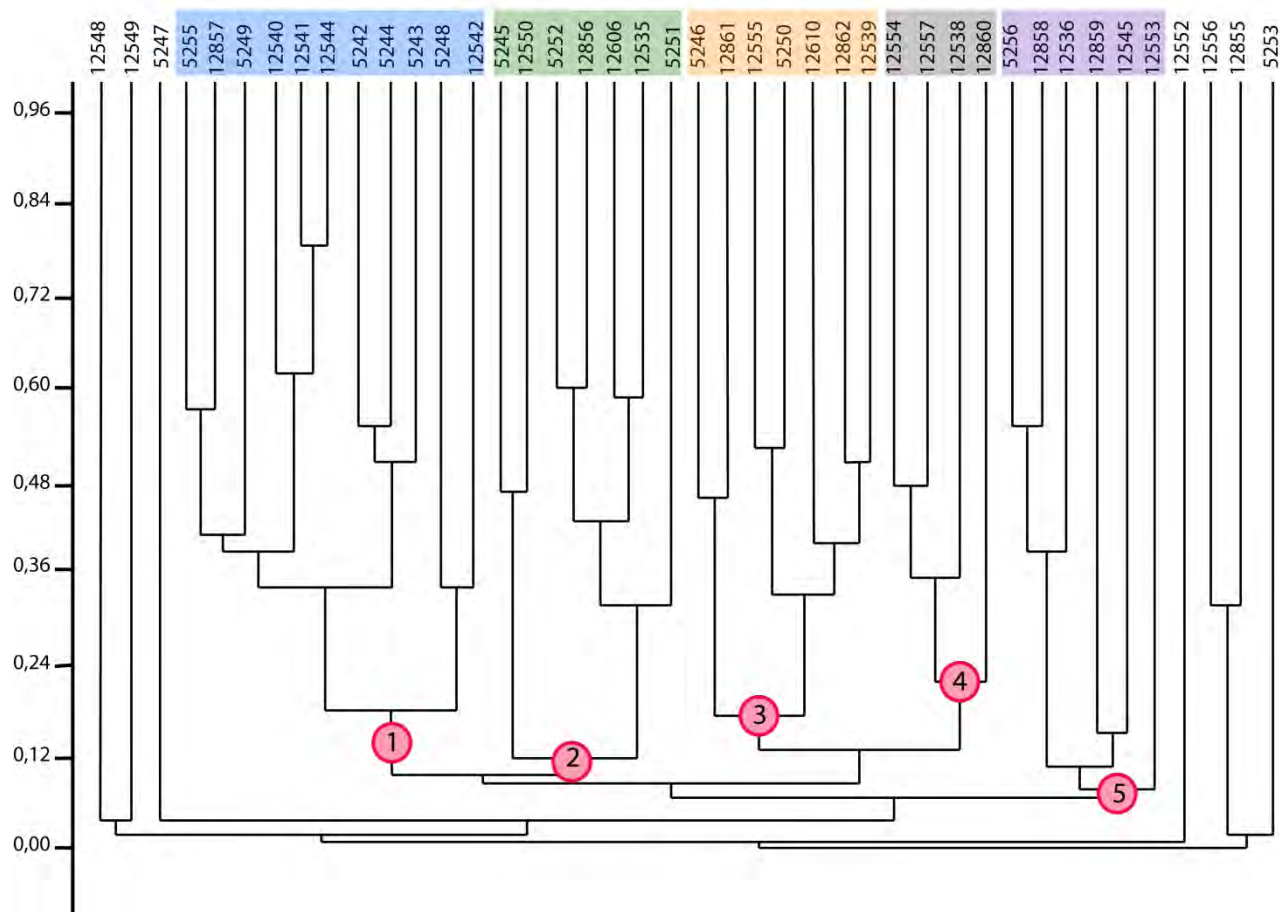


Рис. 1. Сравнение таксономического состава макробентоса на всех станциях в пяти заливах методом кластерного анализа с использованием в качестве меры сходства индекса Брея-Кертиса.

**Группа 1** – з. Ога, з. Седова, з. Цивольки, з. Благополучия; **группа 2** – з.Цивольки, з. Седова, з. Благополучия; **группа 3** - з. Ога, з. Степового, з. Цивольки, з. Благополучия; **группа 4** – з. Степового, з. Благополучия; **группа 5** - з. Степового, з. Цивольки, з. Благополучия.



**Распространение и генетическое разнообразие взморника, *Zostera marina* L. в северных морях России.**

**Симакова Ульяна Вадимовна, Неретина Татьяна Владимировна, Колючкина Галина Антоновна, Спиридонов Василий Альбертович, Локтионов Егор Юрьевич**  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Сообщества морских трав (морские луга) играют значительную роль в продукции и трансформации органического вещества и поддержании высокого видового разнообразия мелководных экосистем во всем мире (Green, Short, 2001; Duarte, Cebrian, 1996; Hemminga, Duarte, 2000; Mateo, et al., 2006; Bostrom, et al., 2006). В тоже время по всему миру наблюдается значительное сокращение площадей, занятых этой экологической группой (Waycott et al, 2009). Морские травы особенно чувствительны к изменениям окружающей среды таким как: колебания прозрачности, солености, температуры, что является результатом антропогенного воздействия и изменения климата (McGlathery. et al, 2007; Orth et al, 2006). В умеренных широтах северного полушария и в Арктике морские луга образованы преимущественно одним видом – *Zostera marina* L. (Green, Short, 2001;).

Одной из особенностей зостеры является способность к клональному росту с возможностью самоопыления (Вехов, 1992; den Hartog, 1970). В качестве жизненной стратегии клональный рост может давать значительные преимущества: быстрый захват территории, перераспределение веществ между связанными частями клона, быстрое распространение наиболее эффективного генотипа (Kroon, Knops, 1990). Однако, отсутствие механизмов, препятствующих самооплодотворению, может приводить к значительным потерям генетического разнообразия и накоплению межпопуляционных различий (Charlesworth, 2003; Charlesworth and Charlesworth, 1987; Ruggiero et al., 2005; Zipperle et al., 2009). Вследствие этого способность к адаптации у популяций клональных организмов может оказаться сниженной. Существует гипотеза, о том, что у клональных видов в краевых частях ареала роль вегетативного размножения возрастает (Eckert, 2002). Таким образом, Арктическая популяция зостеры, может обладать высокой степенью клональности, как следствие, низкой способностью к адаптации в условиях климатических изменений.

Несмотря на обширные исследования генетико-популяционной структуры и филогеографии *Zostera marina*, совершенно не затронутыми оказались популяции Арктического бассейна Российской Арктики, включающие как северо-восточную часть Атлантической части ареала так и Северо-западную часть Тихоокеанской части. Исследование генетико-популяционной структуры зостеры в Белом, Баренцевом (Возможно – Карском), Беринговом и Охотском морях расширит и дополнит картину популяционной структуры, особенностей генетико-популяционных процессов и филогеографии, охарактеризует такие свойства как клональность и разнообразие, возможности распространения этого вида в самых неблагоприятных условиях на границе ареала.

Целью нашего исследования было изучение современного распространения и разнообразия популяции взморника *Zostera marina* L. Арктического региона Российской Федерации. В соответствии с этим были поставлены следующие задачи: выявление и анализ исторических данных о распространении zostеры в Арктическом регионе Российской Федерации; оценка современного состояния и генетической структуры популяции взморника в Баренцевом, Белом и Беринговом морях.

Мы провели анализ литературных и фондовых данных по встречаемости взморника в прибрежных водах России и на основании полученных материалов составили Базу данных (Microsoft Excel) и ГИС-проект (QGIS). Часть «исторических» точек были посещены для оценки современного состояния и сбора материалов для анализа генетической структуры популяции *Zostera marina*: ряд заливов и губ Белого моря, полуостров Рыбачий, полуостров Немецкий и полуостров Средний Баренцева моря, Анадырский лиман.

Сбор проб и выделение ДНК для генетического анализа осуществлялся по стандартной методике (Olsen et al. 2004; Doyle, Doyle, 1987; Ivanova et al., 2008). Для амплификации выбранных участков ДНК использовали готовые смеси для постановки ПЦР ScreenMix (Eurogene) и набор Taq-полимераза+буфер без MgCl<sub>2</sub> (Sileks). Один из простых и довольно эффективных методов является анализ разнообразия и генотипирование с помощью микросаттелитов. Для zostеры эта методика применялась довольно широко. В различных регионах как Атлантического, так и Тихого океанов этим методом проанализировано более 70 популяций (Reusch, et al., 1999; Rhode, Duffy, 2004; Olsen et al, 2004; Becheler et al, 2010; Tanaka, et al., 2011). Хроматограммы секвенирования и генотипирования получали на секвенаторе Applied Biosystems 3500. Для анализа хроматограмм было использовано программное обеспечение Codon Code Aligner и Genescan (Applied Biosystems).

*Zostera* – род морских трав. Наиболее распространенным видом на территории России является *Zostera marina* L. В Арктических морях встречается по-видимому два вида zostеры. В Баренцевом и Белом – только *Z. marina*, В Беринговом море – *Z. marina* и *Z. japonica* Asch., Graebn. Обнаружение *Zostranoltei* Hornem. в Белом море по-видимому ошибочно (Вехов, Пронькина, 1983; Марковская и др, 2011). Взморники обитают в прогреваемых заливах на литорали и в верхней сублиторали. Распространение в арктике по-видимому ограничено летними температурами и световыми условиями. В Арктике лучше всего изучено распространение и биология zostеры в Белом море. Специальных исследований в Баренцевом и Беринговом морях не проводилось.

В Белом море Зостера встречается преимущественно у западных берегов Кандалакшского и Онежского залива (Карельский, Поморский) (Гемп, 1962; Вехов, 1995). С тех пор наблюдается постепенное восстановление (Вехов, 1974). Однако, ни значения биомассы ни распространение в глубину нынешних зарослей не достигают значений, указываемых авторами 30-50 х годов (Вехов, 1995; Simakova, 2014). В Белом море Зостера встречается в нескольких типах местообитаний. Наиболее распространенные: рыхлые грунты на пологой литорали в затишных губах, не подверженных сильному волновому воздействию (Максимович и др, 2005), литоральные лужи на средней литорали за грядой камней. (Коробков, 2012), сублитораль в куту закрытых губ и эстуариях (Марковская и др, 2011; Simakova, 2014). В северной части Кандалакшского залива zostера широко распространена как в губах, таки и у относительно открытых берегов, защищенных островами (в шхерах). Зостера широко распространена у Карельского берега Кандалакшского залива особенно крупные ее скопления наблюдаются в Белой губе (до 11 га)

залива Бабы море и в губах у Городецкого порога (более 10 га) на о. Великом, в кутовых частях Ругозерской и Чернореченской, губ, В Нильмо-губе (Макаров, Спиридонов, 2013; Любезнова, 2013; Вехов, 1995; Симакова, 2015; Телегин, Панарин, 2000; Симакова, неопубл. данные). У Кандалакшского берега луга зостера в массе встречается в Пильской губе. Взморник отмечается также у берегов Турьего мыса, в Порьей губе, в куту Малой Пирьей губы (Константинова и др, 2008; Симакова, неопубл. данные). В Онежском заливе зостера в основном сосредоточена у западных берегов практически до устья р. Онеги. Здесь она отмечается у пос. Возгоры (Флора Северо-востока..., 1974). Встречается по-видимому во многих губах и шхерах. Известные массовые скопления – В губе Куз (у поселка Сухое) и в Колежемской губе (у южного берега) (Заславская, 2007; Сергиенко и др, 2015; Симакова, неопубликов. данные). Отмечается так же у берегов о. Мягостров, о. Лех-Луда, устья р. Большая Кеть-Мукса (Вехов, 1992; Заславская, 2007). На Онежском полуострове зостера в массе встречается у м. Орлов, у пос. Пушлохта (Волков и др., 2014) и в Унской губе (Вехов, 1992). В Двинском заливе зостера отмечается у г. Северодвинска (Вехов, 1992) и в районе залива Сухое море (Мискевич, 2013).

Зостера практически не встречается у берегов Баренцева моря. Этот вид отмечался в Варангер-фьерде и у западных берегов полуострова Рыбачий в Вайда губем (Арктическая флора, 1960; Zenkevich, 1963), однако современных подтверждений этого найти не удалось. Обследования губ полуострова Рыбачий и п-ова Немецкий, проведенные в 2011, 2015-2016 гг. показали, что устойчивая популяция зостеры существует только в Губе Малая Волоковая. В восточной части Баренцева моря зостеру отмечают в Байдарацкой и Чешской губах (Возжинская и др., 1997; den Hartog, 1970). Отмеченное С. Den Hartog (1970) обнаружение *Zostera marina* в Чешской губе, основанное на гербарной коллекции (Felman, N.J., 1868) в Париже (*Muséum nat ional d' histoire nat urelle, P aris*) не подтверждается данными других авторов, возможно в силу недостаточной изученности прибрежных районов (Гурьянова, 1929; Галкина, 1968; Пушкин, 1968). Достоверно известно, что в российском секторе Баренцева моря *Z. marina* обитает в губе Ивановской. Здесь она встречается в средней и кутовой частях, защищенных мелководными порогами. Летний прогрев воды создает здесь необходимые для развития взморника температуры (Блинова, 1964; Мокиевский, 2004, неопубл. данные; Стрелков, 2008 неопубл. данные). В Беринговом море литоральные заросли взморника обнаружены в 2011-2015 гг. в Анадырском лимане. Его отмечали в заливе и ранее (Коробков, Секретарева, 2007).

Мы оценили генетическое разнообразие шести Беломорских популяций *Zostera marina*. Число аллелей в большей части исследованных локусов оказалось в 2-5 раз ниже в Беломорской популяции, по сравнению с другими популяциями зостеры в северной Атлантике. Для нескольких локусов обнаружена фиксация одного аллеля. В тоже время в исследованной выборке особи, относящиеся к одному клону (раметы, носители одного генотипа) встречены только в одной популяции. Это говорит о том, что половое размножение играет значительную роль в воспроизводстве Зостеры в Белом море. В отличие от Черноморских и части Балтийских популяций зостеры, Беломорские – состоят из множества генотипически отличных друг от друга линий.

Причиной такого низкого генетического разнообразия Беломорских популяций может являться эффект основателя. Однако немалую роль так же могли сыграть массовые вымирания зостеры, наблюдавшиеся в Белом море начиная с 60-х годов (Вехов, 1992).

## Список литературы

- Блинова Е.И. 1964 а. Эколого-флористический очерк губы Ивановки – реликтового водоема Баренцева моря // Запасы морских растений и их использование. М.: Наука, с. 58-70.
- Вехов В. Н. Зостера морская (*Zostera marina* L.) Белого моря. – Изд-во МГУ, 1992. 144 с.
- Возжинская В.Б., Белькович В.М., Виноградов Г.М., Горелова Т.А., Кузин В.С., Кучерук Н.В., Мокиевский В.О. 1997. Гидробиологические и экологические исследования в Арктике: Морская биота юго-западных побережий Карского моря (Байдарацкая губа) // Известия РАН. Сер. Биол., N 6.- с. 705-716.
- Коробков А. А., Секретарева Н. А. 2007. Таксономическая и географическая структура флоры бассейна р. Анадырь (Чукотский автономный округ) //Бюллетень Ботанического сада института ДВО РАН. №. 1. – С. 1.
- Макаров А. В., Спиридонов В. А. 2013. Морские травы: взгляд из космоса //Природа. №. 2. – С. 91-94.
- Максимович Н. В., Иванов М. В., Букина М. В. 2005. Современное состояние и перспективы промысла морской травы *Zostera marina* L. в прибрежных акваториях карельского берега Белого моря // Мат. IX межд. конф. Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. – С. 208-210.
- Марковская Е.Ф., Шкляревич Г.А., Сергиенко Л.А., Стародубцева А.А. 2011. К вопросу о морфологической изменчивости *Zostera marina* L. на побережьях Белого моря // Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под воздействием факторов среды: Материалы Международной конференции. Петрозаводск: КарНЦ РАН. – С. 179-183.
- Сергиенко Л. А., Стародубцева А. А., Смолькова О. В., Марковская Е.Ф. 2015. Виды Рода *Zostera* L. (сем. *Zosteraceae*) во флоре западного побережья Белого моря. В печати.
- Шкляревич Г. А. 2014. Восстановление зарослей *Zostera marina* L. в Кандалакшском заливе Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: Естественные и технические науки. № 4 (141). - С. 13-18.
- Green E. P., Short F. T. World atlas of seagrasses. – Univ of California Press, 2003. 298 p.
- Den Hartog, C., 1970. The seagrasses of the world. Verh. Kon. Ned. Akad. Wet. Afd. Natuurk., Reeks. V. 59. № 1. – 91 с.
- Olsen J. L. et al. North Atlantic phylogeography and large-scale population differentiation of the seagrass *Zostera marina* L //Molecular ecology. – 2004. – Т. 13. – №. 7. – С. 1923-1941.
- Simakova U. V. Current status and long-term changes of *Zostera marina* L. in case of the Babie More bay (White Sea). Abstracts volume from 49th European Marine Biology Symposium. St. Petersburg, 2014.-p. 56-57.
- Zenkevitch, L. A. 1963. Biology of the Seas of the USSR. Interscience. New York. – 995 p.

**СЕКЦИЯ: РАЦИОНАЛЬНОЕ  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

## Мониторинг соленых озер – важнейших природных ресурсов Крыма.

**Шайда Валентин Григорьевич, Руднева Ирина Ивановна**

*Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН*

Соленые озера Крыма, занимающие площадь около 53000 га (Рис. 1), наряду с минеральными и бальнеологическими ресурсами обладают ценнейшим биологическим сырьем, которое имеет большое значение для успешного развития аквакультуры. К биоресурсам прежде всего относится артемия *Artemia sp.* - жаброногий рачок, являющийся важнейшим стартовым кормом для рыб и ракообразных, выращиваемых в искусственных условиях. Несмотря на значительное количество соленых озер в Крыму, информация об их ресурсах достаточно ограничена, а сведения о сезонной динамике практически отсутствуют. Целью настоящей работы явилось исследование показателей солености воды в разных озерах Крыма, а также продукционных характеристик цист артемии, обитающей в них.



Рис. 1. Соленые озера Крыма.

Соленость крымских озер является важнейшим фактором, необходимым для нормальной жизнедеятельности, развития и воспроизводства артемии. При этом оптимальное содержание соли в воде колеблется в пределах 120-140 г/л. Как можно видеть, соленость в гиперсоленых водоемах Крыма варьирует в довольно широких пределах – от 80 г/л до 220 г/л (Рис. 2). В то же время в течение года содержание соли может существенно изменяться в озерах, что обусловлено испарением в летний период и увеличением в связи с этим солености вплоть до полного пересыхания водоема. В то же время отмечены и обратные тенденции – в осенне-зимний и весенний период вследствие выпадения большого количества осадков происходит распреснение озер и снижение солености.

Колебания показателей солености оказывают существенное влияние на жизненный цикл артемии и, в частности, на процесс образования цист и их продукцию в конкретном водоеме,

что важно учитывать при планировании мероприятий по их сбору и объему изъятия в различные сезоны. Наши последние исследования показали, что в зимний период, когда некоторые озера (Ойбургское) замерзают, на поверхности льда концентрируются цисты, которые могут быть легко собраны. Высокая продукция рачка отмечена нами в искусственных водоемах: прудах-испарителях солезаводов, солеварен, грязелечебниц. Процент выклева науплиев из цист варьирует в пределах 7.4-60.5%.

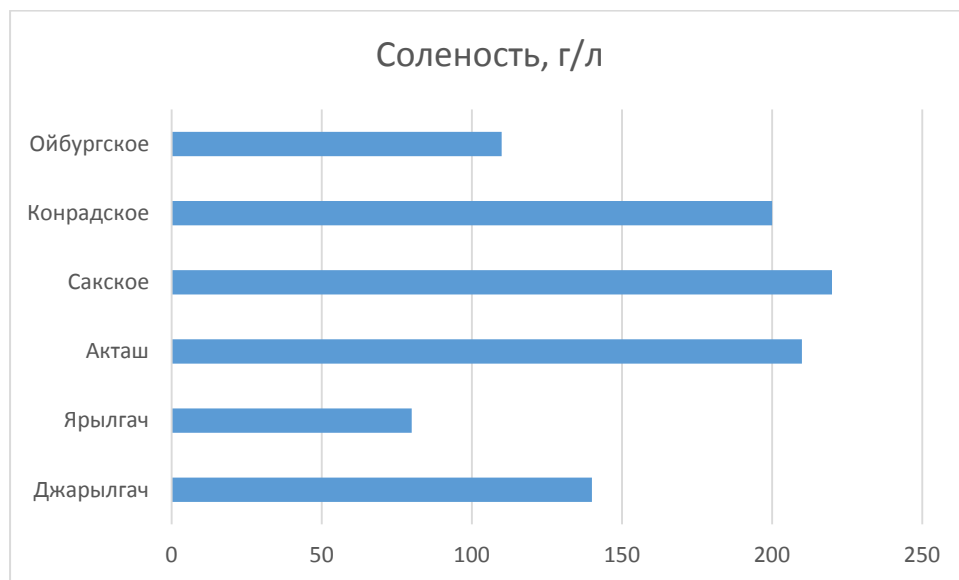


Рис. 2. Содержание соли в воде (рапе) крымских соленых озер (декабрь 2015).

В связи с перспективой развития аквакультуры в Крыму в настоящее время и, прежде всего, искусственного выращивания осетровых рыб и креветок, для обеспечения их дешевыми и эффективными кормами необходимо систематическое и тщательное исследование биоресурсов соленых озер с целью их рационального использования и охраны

### **Monitoring of the salt lakes –the important natural resources in Crimea**

**Shaida Valentin Grigor’evich, Rudneva Irina Ivanovna**

Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russia

Crimean salt lakes covered the area 53 000 ha, together with mineral and balneological resources contain the important biological resources, which play a role in aquaculture development. It’s *Artemia* – brine shrimp, which is the main start food for the aquatic animals ( fish and crustacean) growing in artificial conditions. In spite of many salt lakes in Crimea, the information of their status is very limited and the data of seasonal fluctuations are absent. The aim of the present study was to investigate of physical and chemical properties of the brine in various Crimean lakes and to evaluate the production (commercial) characteristics of *Artemia* cysts in them. Significant differences of the conditions in the tested water bodies and the hatching rate of *Artemia* cysts in them are shown, which is important for the *Artemia* cysts production and aquaculture development in Crimea.



## **Нефтяные углеводороды в прибрежных водах Крымского полуострова.**

**Соловьёва Ольга Викторовна, Тихонова Елена Андреевна,**

**Мионов Олег Андреевич**

*ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь*

В настоящее время отмечено увеличение загрязнённости морских вод Азово-Черноморского бассейна нефтепродуктами [1, 2, 3]. Естественно основным источником загрязнения до сих пор остаётся перевозка нефти и нефтепродуктов танкерами река–море (например, в Чёрное море ежегодно проходит более 50 тыс. судов и перевозится свыше 100 млн. т. нефти [3]), но по данным [4] в последние годы изменились источники поступления приоритетных загрязняющих веществ. Преобладающим типом загрязнения стало не промышленное, а хозяйственно-бытовое.

Данные процессы характерны и для крымской приморской зоны, т.к. в ней расположены 10 городов и 26 посёлков городского типа. Хозяйственно-бытовые стоки курортных городов Южного берега Крыма, которые зачастую без очистки, попадают в прибрежные воды и являются основными источниками их загрязнения. Износ оборудования водопроводных и канализационных систем приводит часто к возникновению аварийных ситуаций, как например, в районе действующего коллектора города Ялты. В среднем с семи канализационных очистных сооружений, действующих от города Алушты до мыса Сарыч, в морскую среду попадает 43015.93 тыс. м<sup>3</sup> биологически очищенных сточных вод. По данным автора [4], за последние 10 лет, со сточными водами в указанном районе в среднем ежегодно выносилось 2.4 т нефтепродуктов.

Таким образом, зачастую ненормируемая антропогенная нагрузка на крымское побережье способна приводить к необратимым изменениям в экосистеме акватории и вызывать ухудшение санитарно-биологических показателей прибрежных вод. Поэтому немаловажным является как определение фоновых характеристик морских экосистем для сохранения биоразнообразия акваторий Крыма, так и мониторинг содержания основных видов поллютантов с целью контроля качества морской среды. Тем не менее, данные об исследованиях такого рода в последние годы в этом регионе отсутствуют. Последние оценки нефтяного загрязнения прибрежных вод Крыма относятся к 1995 г. [5]. Поэтому целью настоящей работы явилось определение концентраций нефтяных углеводородов в морской воде на различных горизонтах глубин вдоль побережья Крыма и выявление многолетней тенденции изменения данного показателя.

### **Материал и методы**

Пробы отбирались во время 83-го рейса научно-исследовательского судна (НИС) “Профессор Водяницкий” (январь-февраль 2016 г.) по сетке станций (рис.1), расположенных вдоль крымского побережья Чёрного и Азовского морей. Глубина на точках отбора придонных вод в Чёрном море составляла от 25 до 87 м. На станциях 16 – 19, расположенных в акватории Азовского моря, глубины не превышали 9 – 12 м, а поэтому отбор придонной воды был нецелесообразным. Обработку и определение НУ в морской воде проводили по стандартной методике [6], а их измерение их концентрации на фурье-спектрофотометре ФСМ-1201.

## Результаты и обсуждение

В пробах, отобранных с поверхностного горизонта, отмечался существенный разброс содержания НУ: от 0.0025 до 0.131 мг/дм<sup>3</sup>. При этом, если первая величина ниже предельно-допустимой концентрации (ПДК=0.05 мг/дм<sup>3</sup>) [7] в 20 раз и характеризует практически чистую воду, то вторая – загрязнена нефтепродуктами на уровне 2.6 ПДК. Для группы станций 1 – 5, расположенных на западном побережье Крыма, отмечены концентрации НУ, которые составляли от 0.5 до 2.6 ПДК. Повышенное содержание нефтепродуктов в воде севастопольского побережья (ст. 1) представляется закономерным, т.к. значительное количество поллютантов попадает в акваторию, как в результате обслуживания судов, так и с береговыми стоками [8]. Наличие НУ на остальных станциях из данной группы может определяться рядом факторов. Например, береговым стоком (ст. 3, район Евпатории); функционированием флотской базы (ст. 4, оз. Донузлав); поступлением нефтепродуктов в море со стоком реки Дунай, который движется по стрежню Основного черноморского течения и, достигая западной части Центральной зоны циклонической завихренности, возвращается к юго-западному побережью Крыма [9]; а также с наличием на данном участке течений северо-западного направления, переносящих воды от одного из самых неблагоприятных в отношении нефтяного загрязнения участков Чёрного моря – севастопольского побережья [10].

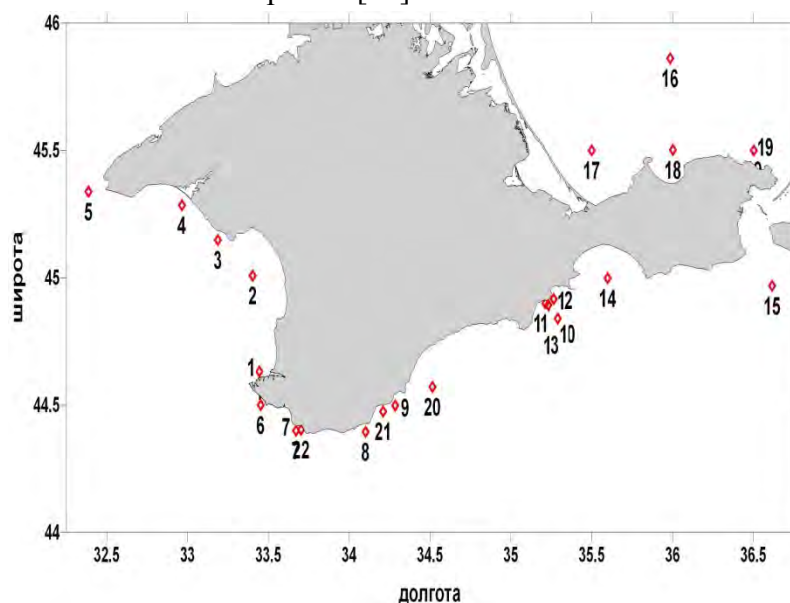


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в 83-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий».

На южном побережье Крымского полуострова содержание НУ порядка 0.5 ПДК отмечены в районе б. Ласпи и выхода городского коллектора г. Ялта. На остальных станциях обнаруженные концентрации говорят об отсутствии нефтяного загрязнения. В восточной части побережья Крыма и Азовском море оно также отсутствовало. Следует отметить, что даже в районе активного судоходства и строительства моста – на входе в Керченский пролив, в воде в период исследования не было отмечено какого-либо превышения фоновых значений. В юго-западной части Азовского моря также не было зафиксировано существенных уровней НУ.

Другая задача настоящего исследования состояла в характеристике распределения нефтепродуктов в придонном слое. На станциях, где производился отбор придонной воды,

превышение ПДК (0.0609 мг/дм<sup>3</sup>) отмечено на ст. 4, расположенной у входа в оз. Донузлав. Данный регион одновременно является как объектом рекреации, так и военно-морской базой. На остальных станциях содержание нефтепродуктов в придонном слое находилось в установленных нормативами пределах. За исключением ст. 5, 7 (м. Тарханкут и б. Ласпи), где содержание нефтепродуктов несколько выше фоновых значений и достигало 0.3 ПДК, можно говорить об отсутствии нефтяного загрязнения придонных вод.

Определённой тенденции в изменении концентрации НУ между поверхностным и придонным слоями не обнаружено. Однако, в тех районах, где уровни загрязнения были незначительными, и скорее всего, соответствовали фоновому содержанию автохтонных НУ, их концентрация в верхнем и нижнем горизонтах не различалась. На станциях с повышенным содержанием нефтепродуктов их количество в придонном слое было ниже, чем на поверхности воды. Это, возможно, связано с поступлением нефтепродуктов в море с поверхности и их дальнейшим осаждением на дно.

Из практически чистого региона южного побережья выделялась б. Ласпи, расположенная на юго-западе полуострова. Содержание НУ в придонном и поверхностном горизонтах которой, хоть и не достигает опасных значений, но несколько выше, чем в других районах данного побережья.

Если говорить о многолетней динамике нефтяного загрязнения крымского побережья, то по сравнению с 1995 г. (53-ий рейс НИС «Профессор Водяницкий») [5], к настоящему моменту можно констатировать снижение содержания НУ. Исключение составило евпаторийское побережье, где современный показатель почти в 2 раза превысил данные 1995 г.

### **Заключение**

Анализ распределения нефтяного загрязнения вдоль крымского побережья выявил неоднородность данного показателя на различных его участках при невысоких уровнях показателя в целом. Сравнение полученных результатов с природоохранными нормативами показало, что на большинстве участков акватории содержание в воде НУ соответствует санитарным требованиям. При этом превышение ПДК на отдельных станциях соответствует портовым районам, а также связано с черноморскими течениями, перераспределяющими загрязняющие вещества по акватории водоёма. В местах с повышенными уровнями содержания нефтепродуктов, отмечается снижение их концентрации с глубиной, что свидетельствует о поверхностном поступлении и распространении данных поллютантов. В 2016 г. можно констатировать снижение уровней нефтяного загрязнения крымского побережья относительно 1995 г. Однако преждевременно говорить об отсутствии угрозы со стороны данного вида загрязняющих веществ, поскольку на многих участках побережья их содержание по-прежнему превышает установленные нормативом количества.

### **Список литературы**

[1] Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А. Нефтяные компоненты в устьевой области р. Дон и в Азовском море (результаты многолетних исследований) // Водные ресурсы. – 2014. – 41 (1). – С. 49 – 59.

[2] Ларин А.А., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В. и др. Загрязнение прибрежной акватории российского Причерноморья нефтяными компонентами // Морск. экол. журн. – 2011. (спец. вып. 2.) – С. 49 – 55.

[3] Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.И., Савицкий Р.М. Воздействие на среду и биоту аварийного разлива нефтепродуктов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. // Водные ресурсы. – 2013. – 40 (3). – С. 259 – 273.

[4] Пенно М.В. Наземные источники загрязнения морских вод в районе Южного берега Крыма // Ученые записки ТНУ. Серия: География. – 2001. –14, №1. – С. 93 – 96.

[5] Щекатурина Т.Л., Осадчая Т.С., Кривошеева Л.В. Фоновые уровни загрязнения нефтепродуктами и бенз(а)пиреном шельфовой зоны Крыма (Чёрное море) // Экология моря. – 2002. – Вып. 59. – С. 80 – 84.

[6] Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 208 с.

[7] Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоёмов / Анисова С.Н., Лесников Л.А., Минаева Т.В. и др. – М. : ВНИРО, 1990. – 46 с.

[8] Миронов О.Г., Миронов О.А. Нефтяные углеводороды в морской воде прибрежной акватории Севастополя // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 9. – 25 – 29.

[9] Лебедев С.А. Оценка фонового загрязнения нефтепродуктами Чёрного и Каспийского морей с использованием данных дистанционного зондирования и модельных расчётов // Материалы Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы современности» (Майкоп, Россия, 12 – 15 мая 2009 г.). – 2009 г. – С. 25 – 44.

[10] Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя / Под общ. ред. Миронова О.Г. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – 192 с.

**Микроводоросли в спектре питания культивируемых мидий (Крым, Черное море).**  
**Поспелова Наталья Валериевна, Балычева Дарья Сергеевна,**  
**Рябушко Лариса Ивановна**  
*Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН,*  
*г. Севастополь*

Доступность пищи является одним из основных факторов, лимитирующих рост и размножение гидробионтов. Трофически ценной частью взвешенного органического вещества для их питания являются микроводоросли (МВ) планктона. Однако существенную роль занимают и МВ бентоса морей. В Чёрном море также имеются вредоносные виды МВ, образующие «цветение» воды и «красные приливы», в том числе токсичные виды, выделяющие фитотоксины, которые накапливаются в теле моллюсков, а их концентрация в мидии может достигать опасных уровней (так называемый «моллюсковый токсикоз») для человека при употреблении морепродуктов (Рябушко, 2003). Процессы выедания МВ беспозвоночными и рыбами и их избирательность к качеству корма описано в многочисленных литературных источниках. Кроме того, выедание МВ оказывает влияние на снижение численности, биомассы, видового состава и разнообразия водорослевых сообществ (Castenholz, 1961; Medlin, 1980; Рябушко, 1986, 1990, 1993, 2013). Однако эти вопросы ещё недостаточно исследованы у культивируемых моллюсков в условиях природной среды, в том числе у мидии из Чёрного моря. Точное знание спектра питания мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. – объекта культивирования в крымском побережье Чёрного моря – имеет важное значение с точки зрения понимания роста и динамики её поселений, как в условиях фермерского хозяйства, так и в природных популяциях. Целью работы являются одновременные исследования таксономического состава и количественных характеристик МВ планктона и эпизоона раковин мидии, наполняемости желудков, а также анализа фекалий и псевдофекалий в акватории мидийно-устричной фермы близ г. Севастополя (Чёрное море).

### **Материалы и методы**

Исследования проведены с августа 2015 по июль 2016 гг. в районе мидийно-устричной фермы, расположенной на внешнем рейде Севастопольской бухты Чёрного моря. Для изучения видового разнообразия и численности ( $N$ ) фитопланктона пробы воды объёмом 1,5 л отбирали с горизонта 0–6 м, сгущали методом обратной фильтрации через ядерные мембраны ( $D_{пор}=1$  мкм). Обработку проб фитопланктона проводили методом прямого счета МВ в живой и сгущенной капле ( $V=0,01$  мл) и в камере ( $V=1$  мл). Пробы МВ с поверхности раковин 3-х экз. мидии отбирали с коллекторов фермы на глубине 6 м, а количественный учёт проводили в камере Горяева ( $V=0,0009$  мл). Пробы фитопланктона и микрофитобентоса обрабатывали в 3-х повторностях с использованием световых микроскопов «Jenaval» и «Axioskop 40» С. Zeiss при соответствующих увеличениях 10x20, 10x40 и 10x100. Для определения таксономического состава и численности МВ в пищевом комке в лаборатории желудка мидии сразу же вскрывали при помощи скальпеля, отбирая пипеткой их содержимое, а затем анализировали под микроскопом. Для исследования состава МВ фекалий и псевдофекалий мидии, моллюсков высаживали в профильтрованную морскую воду на 2–4 часа.

## Результаты и обсуждение

В течение годового цикла исследований в планктоне обнаружено 145 видов МВ, из них диатомовые – 67 видов, динофитовые – 52, гаптофитовые – 15, силикофлагелляты – 5, зеленые – 2, цианобактерии – 4 вида. На поверхности раковин мидии обнаружено 107 видов МВ, принадлежащих диатомовым (90), динофитовым и гаптофитовым (по 6 видов), цианобактериям (4 вида) и 1 вид силикофлагеллят.

В 2015 г. численность фитопланктона в акватории фермы колебалась от 14,2 до 245,6 млн кл.·м<sup>-3</sup> с максимальными значениями в декабре при доминировании мелкоклеточного вида *Emiliana huxleyi* (табл. 1). В 2016 г. численность фитопланктона, по сравнению с предыдущим годом, была значительно выше и колебалась от 108 млн до 2371,2 млн кл.·м<sup>-3</sup> с максимумом в мае, когда наблюдалось «цветение» воды, вызванное колониальной диатомовой водорослью *Chaetoceros socialis* (табл.). В эпизооне мидии преобладали бентосные диатомовые, численность которых варьировала от 7,8·10<sup>3</sup> (август) до 119·10<sup>3</sup> кл.·см<sup>-2</sup> (февраль). Всего в желудках мидии найден 91 вид МВ (в т.ч. 15 токсичных видов), в фекальных пеллетах – 69, псевдофекалиях – 40 видов. Из них в желудках обнаружено бентосных (Б) – 25 видов, бентопланктонных (БП) – 18; в фекалиях – Б – 3 вида, БП – 6, общих видов – 14; в псевдофекалиях отмечено Б – 21, БП – 9 и 21 общий вид с содержимым желудков. Численность МВ в желудках варьировала от 470 до 390·10<sup>3</sup> клеток на 1 экземпляр мидии.

Таблица 1. Общая численность ( $N_{общ.}$ ) фитопланктона и доминирующих видов МВ ( $N$ ) в районе морской фермы и в желудках коллекторной мидии *M. galloprovincialis*, Чёрное море.

Месяц	Фитопланктон			МВ в желудках мидии		
	$N_{общ.}$ , млн кл.·м <sup>-3</sup>	Доминант	$N$ , млн кл.·м <sup>-3</sup>	$N_{общ.}$ , тыс.кл.·м <sup>-3</sup>	Доминант	$N$ , тыс. кл. / экз. мидии
2015 г.						
Август	14,173	<i>Emiliana huxleyi</i>	6	0,47	<i>Prorocentrum</i>	0,17
Сентябрь	231,71	<i>Proboscia alata</i>	168	10,10	<i>Proboscia alata</i>	4,43
Октябрь	24,73	-«-	17	7,80	-«-	2,73
Ноябрь	16,12	<i>E. huxleyi</i>	24	15,14	<i>Prorocentrum</i>	4,70
Декабрь	245,61	-«-	212	392,75	<i>E. huxleyi</i>	316,00
2016 г.						
Январь	299,48	-«-	376	67,44	-«-	36,82
Февраль	108,27	<i>Skeletonema</i>	63	18,77	-«-	9,80
Март	561,80	<i>Chaetoceros</i>	156	58,83	<i>Scrippsiella</i>	48,38
Апрель	313,12	<i>E. huxleyi</i>	223	6,11	<i>E. huxleyi</i>	3,59
Май	2371,19	<i>Chaetoceros</i>	2000	7,37	<i>S. trochoidea</i>	1,73
Июнь	264,10	<i>Ch. compressus</i>	184	1,05	<i>P. micans</i>	0,53
Июль	382,48	<i>E. huxleyi</i>	115	0,60	<i>E. huxleyi</i>	0,18

Содержимое желудков в основном соответствовало таксономическому составу фитопланктона в районе фермы. Если в планктоне по численности доминировали диатомовые и гаптофитовые, то в пищевом спектре моллюсков – динофлагелляты и гаптофитовые (28 и 12% общего количества видов МВ, соответственно), в т.ч. и бентосные виды. Приоритет по видовому разнообразию принадлежал диатомовым водорослям (57%) как в планктоне, так и в желудках мидии. Соотношение групп МВ в пищевом спектре моллюска менялось по сезонам года. Наибольшее видовое разнообразие в желудках мидии характерно для летнего сезона, минимальное отмечено в апреле и сентябре.

С августа по октябрь 2015 г., когда температура морской воды постепенно снижалась с 25 до 18<sup>0</sup>С, в планктоне встречались крупноклеточные колониальные диатомовые (*Pseudosolenia calcar-avis*, *Pseudo-nitzschia calliantha*) с доминированием *P. alata* в сентябре (табл.). Желудки мидий в августе были практически пустые, а в сентябре–октябре их наполненность значительно возрастала – более 37-45% составляли обломки *P. alata*, *P. calcar-avis* (размер обломков клеток до 80 мкм), высокой (более 30%) была доля динофитовых водорослей рода *Prorocentrum*, численность которых в планктоне не превышала 5%.

С ноября 2015 по февраль 2016 г., при дальнейшем снижении температуры воды до 8<sup>0</sup>С, основной вклад в суммарную численность фитопланктона (62–97%) вносили мелкоклеточные водоросли (размер клеток 6–15 мкм) – диатомовая *S. costatum* и гаптофитовая *E. huxleyi* (табл.), космополиты морей, вызывающие «цветение» воды, что типично для этого периода в Чёрном море. Аналогичная картина отмечена и в желудках мидии, за исключением ноября, когда более 50% их содержимого включали клетки *P. micans*, *P. compressum*, *P. cordatum*, которые встречались круглогодично (их доля составляла 20–69%).

С марта по июль 2016 г. продолжалось развитие *E. huxleyi*, которой в этот период сопутствовали колониальные диатомовые рода *Chaetoceros*, имеющие длинные тонкие щетинки и не входящие в пищевой спектр мидии. В летний период в массе развивались пеннатные диатомовые *P. calliantha* и *Thalassionema nitzschioides*. Последний вид, наряду с представителями рода *Prorocentrum*, вносил весомый вклад в суммарное количество МВ в желудках моллюсков, составляя 5–29% в зимний и летний сезоны. Численность динофитовых в планктоне в районе фермы по выращиванию коллекторной мидии за период исследования не превышала 95 млн кл. · м<sup>-3</sup> (6,5%), при этом биомасса в летне-осенний сезон достигала 150 мг · м<sup>-3</sup> (31%) за счет крупноклеточных видов, относящихся к родам *Neoceratium* и *Protoperdinium* (размер клеток 80-400 мкм). В летний период основу численности и биомассы динофитовых составляли мелкоклеточные виды (размером до 50 мкм): *P. cordatum*, *Gymnodinium wulffii*, *G. kowalevskii*, *S. trochoidea*. С марта по май эти виды в значительном количестве встречались в желудках мидии. Что касается токсичных видов, вызывающих моллюсковое отравление у человека, в планктоне фермы в летний период единично встречались динофитовые из рода *Dinophysis* (*D. caudata*, *D. fortii*, *D. acuminata*), *Phalacroma rotundatum*, диатомовые из рода *Pseudo-nitzschia* (*P. delicatissima*, *P. seriata*, *P. pungens*), силикофлагеллята *Dictyocha speculum*, но их количество в желудках мидии было незначительным. Потенциально токсичные и токсичные виды рода *Prorocentrum* отмечены в большом количестве и в желудках, и в фекалиях мидии, при этом их клетки оставались живыми и сохраняли подвижность. Возможно, это связано с избирательностью мидии к качеству пищи, в данном случае, отторжением представителей этого рода и предпочтение виду *E. huxleyi*, которая доминировала в фитопланктоне и желудках мидии (табл.).

Сравнительный анализ данных по пищевому спектру некоторых видов черноморских беспозвоночных и рыб показал, что диатомовые водоросли в их пищевом рационе играют значительную роль. Так, у рыбы зеленушки *Crenilabris tincta* L. диатомовые составляли 56,3% их встречаемости и занимали 2-е место после полихет (Калинина, 1963), у веслоногого рачка *Paracalanus parvus* (Claus) – одного из важных пищевых объектов рыб, в пищевом комке из 9 видов фитопланктона указаны виды *Chaetoceros socialis*, *P. cordatum*, *E. huxleyi* и др. (Делало, 1961), обнаруженные нами и в желудках мидии. В составе желудков 10 видов гарпактикоидов указано до 30 видов бентосных диатомовых (Чепурнов, 1987). Аналогичные



данные о значении МВ в питании мидий и устриц были показаны многими авторами (Сеничева, 2007; Loret et al., 2000, Ciocco & Gayoso, 2002, Rouillon et al., 2005).

Что касается механизмов, лежащих в основе увеличения доли динофитовых в желудках мидий, то существуют две гипотезы (Rouillon et al. 2005): мидии предпочитают эту группу МВ диатомовым посредством дифференциального удержания в ктенидиях (первичные органы газообмена моллюсков) при фильтрации воды и/или выбирают во время процесса формирования псевдофекалий; динофитовые гораздо более устойчивы к внеклеточному пищеварению и остаются дольше в кишечнике.

Таким образом, сравнение качественных и количественных данных фитопланктона, эпизоона поверхности раковин мидии, её желудков, фекалий и псевдофекалий показало, что в природных условиях культивирования у мидии имеется селективный отбор отдельных видов МВ – они предпочитают мелкие формы диатомовых и гаптофитовых. Несмотря на большую частоту встречаемости и высокую численность токсичных видов динофитовых рода *Prorocentrum* в желудках и фекалиях, их клетки были в живом и подвижном состоянии, что, вероятно, указывает на отрицательный отклик мидии к этим МВ при переваривании пищи. Для того чтобы выявить видовой состав и оценить количественную составляющую конкретных видов МВ в питании моллюсков-фильтраторов, необходимы исследования не только *in situ*, но и в лабораторных опытах, а также регулярный биомониторинг вредоносных видов, опасных для биоты и человека, в районах марихозяйств.

### Список литературы

- Делало Е.П. Предварительные данные по питанию *Paracalanus parvus* (Claus) в Чёрном море // Тр. Севастопольской биол. ст. АН СССР. – 1961. – 14. – С. 126–134.
- Калинина Э.М. Рост и питание черноморских зеленушек родов *Crenilabris* и *Symphodus* // Тр. Севастопольской биол. ст. АН СССР. – 1963. – 16. – С. 323–336.
- Рябушко Л.И. Диатомовые водоросли верхней сублиторали северо-западной части Японского моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.18 – гидробиология. – Севастополь, 1986. – 24 с.
- Рябушко Л.И. Трофические отношения некоторых видов беспозвоночных животных бентоса Японского моря с диатомовыми водорослями: Тез. докл. V Всесоюз. конф. по промысловым беспозвоночным (Минск–Нарочь, 9–13 окт. 1990). – М., 1990. – С. 22–23.
- Рябушко Л.И. Структура сообществ диатомовых водорослей эпифитона *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Parenf. из Чёрного моря // Альгология. – 1993. – 3(3). – С. 42–49.
- Рябушко Л.И. Потенциально опасные микроводоросли Азово-Черноморского бассейна. – НАНУ, ИнБЮМ НАН Украины, Океанологический центр НАНУ, Операционный Центр Междун. Ин-та океана в Украине. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 288 с.
- Рябушко Л.И. Микрофитобентос Чёрного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. – 416 с.
- Сеничева М.И. Кормовая база мидий, динамика фитопланктона в районах размещения ферм // Марикультура мидий на Черном море / Ред. В.Н. Иванов. – Севастополь: ЭКОСИ Гидрофизика, 2007. – С. 94–107.
- Чепурнов В.А. О роли бентосных диатомовых водорослей в питании Harpacticoida (Copepoda) // Зоол. журн. АН СССР. – 1987 – 66(7). – С. 1005–1012.
- Castenholz R.W. The effect of grazing on marine littoral diatom populations // Ecology. 1961. 42(4). – P. 783–794.

Ciocco, N. F. & A. M. Gayoso. Microalgal food of the ribbed mussel *Aulacomya atra* (Molina, 1782) in Golfo Nuevo (Patagonia, Argentina) // Journ. Shellfish Res. – 2002. – 21(2). – P. 497–501.

Loret P., Pastoureaud A., Bacher C. & Delesalle B. Phytoplankton composition and selective feeding of the pearl oyster *Pinctada margaritifera* in the Takapoto Lagoon (Tuamotu Archipelago, French Polynesia): *in situ* study using optical microscopy and HPLC pigment analysis // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 2000. – 199. – P. 55–67.

Medlin L.K. Effects of grazers on epiphytic diatom communities: 6-th Diatom Symposium. – 1980. – P. 399–412.

Rouillon G., Guerra Rivas J., Ochoa N. and Navarro E. Phytoplankton composition of the stomach contents of the mussel *Mytilus edulis* L. from two populations: comparison with its food supply // Journ. Shellfish Res. – 2005. – 24 (1). – P. 5–14.

**Результаты исследований и прикладной деятельности АНЦ в области попутных судовых наблюдений морских млекопитающих и орнитофауны, и оценки возможного воздействия на них при выполнении морских работ.**

**к.б.н. Исаченко А.И.<sup>1</sup>, к.т.н. Павлов В.А.<sup>1</sup>, Удовик Д.А.<sup>2</sup>, Глазов Д.М.<sup>2</sup>, Глебова М.А.<sup>3</sup>, к.б.н. Илюшин Д.Г.<sup>3</sup>**

*1. ООО «Арктический Научный Центр», Москва, Россия*

*2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук (ИПЭЭ РАН), Москва, Россия.*

*3. ООО "Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова", Москва, Россия.*

Несмотря на возобновление российских научных исследований в Арктике в последние годы, современный уровень знаний о распределении, популяционном состоянии и распространении морских млекопитающих Карского моря недостаточен. В статье представлена информация о совместной работе ООО «Арктический Научный Центр шельфовых разработок» (АНЦ) и других организаций в области попутных судовых наблюдений за морскими млекопитающими и птицами, а также минимизации негативного антропогенного воздействия на морских млекопитающих при осуществлении морских проектов. Попутные судовые наблюдения за морскими млекопитающими при комплексных геофизических исследованиях и других экспедиционных работах (многоцелевые исследовательские экспедиции) на сегодняшний день являются одним из самых эффективных инструментов изучения териофауны морей Арктической зоны РФ. В зимний период, когда подавляющая площадь акватории арктических морей покрыта льдами, альтернатив попутным судовым наблюдениям на сегодняшний день нет. Преимуществами проведения подобного сбора первичных научных данных является достоверность и качество наблюдений, возможность контроля правильности регистрации встреч, что в последствии позволяет корректно обрабатывать, анализировать и визуализировать полученный материал.

Начиная с 2014 года, в рамках различных исследований осуществлено 8 полноценных экспедиций, в течение которых проводились попутные судовые наблюдения за морскими млекопитающими и птицами осуществляемые согласно методическим рекомендациям силами 2-х или, в зависимости от продолжительности светового дня или размера судна 3-х специалистов. Цель попутных судовых наблюдений – сбор первичных данных о встречах с морскими млекопитающими и птицами на всем протяжении экспедиций Компании и актуализации современного представления о их распределении, местах концентраций, уточнения видового и половозрастного состава терио- и орнитофауны акваторий морей Арктики. Ниже представлены данные по итогам восьми экспедиций, проведенных в период с 2014 по 2015 год, приведены данные по зарегистрированным встречам морских млекопитающих, популяционной структуры, плотности и распределения, а также для оценки видового разнообразия акваторий. Проанализированы встречи с морскими млекопитающими и птицами на протяжении двухлетнего периода экспедиций (2014-2015 гг.) в географических границах 5 морей (Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское). Общая продолжительность всех экспедиций – 445 дней, что составило около 10 680 часов наблюдений.

Следует отметить, что данные по встречам морских млекопитающих сильно зависят от маршрута судна, поэтому большая часть встреч распределена вдоль основной судоходной

трассы северного морского пути, а также в основных районах работы ледокольных судов (центральная и восточная часть акватории). Выбор маршрута ледокольных судов строится на основании данных ледовых прогнозов и в значительной степени зависит от ледовой обстановки в акватории. Зачастую выбираются маршруты вдоль макротрещин и разводий в ледовых полях, а также по уже образовавшимся заприпайным польням, что, в свою очередь значительно увеличивает шансы встреч с вышеперечисленными видами.

За весь период экспедиций зарегистрировано встреч 2608 (приблизительно 5244 особи морских млекопитающих). По результатам орнитологических наблюдений можно сделать общие выводы, что в ледовый период самые крупные концентрации приурочены к заприпайным польням и макротрещинам близ припайной зоны, в безледовый период – акватории близ побережий арктических о-вов и архипелагов (Рис. 1). Заприпайные польня являются важным компонентом морской экосистемы северных широт, и во многом способствуют поддержанию биоразнообразия на всех уровнях трофической цепи. Среди зарегистрированных встреч хищных (исключая белого медведя) необходимо отметить крупные концентрации моржа (лаптевский подвид *Odobenus rosmarus laptevi*, Tshapski, 1940) на лежбище в 2014 г. (более 900 особей) и встреча представителей вида кольчатая нерпа близ о-ва Диксон в 2015 г. (более 300 особей) (Рис. 2).

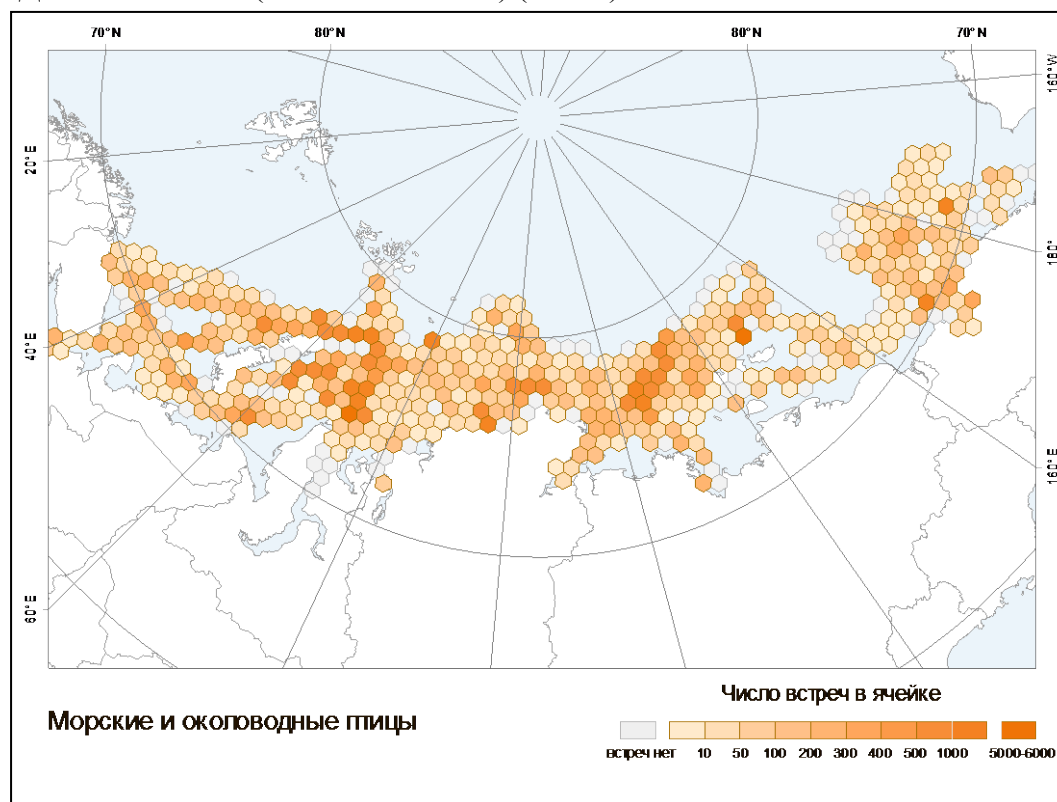


Рис. 1. Распределение встреч морских и околководных птиц по результатам двухлетнего периода экспедиций с марта по ноябрь (2014-2015 гг.).

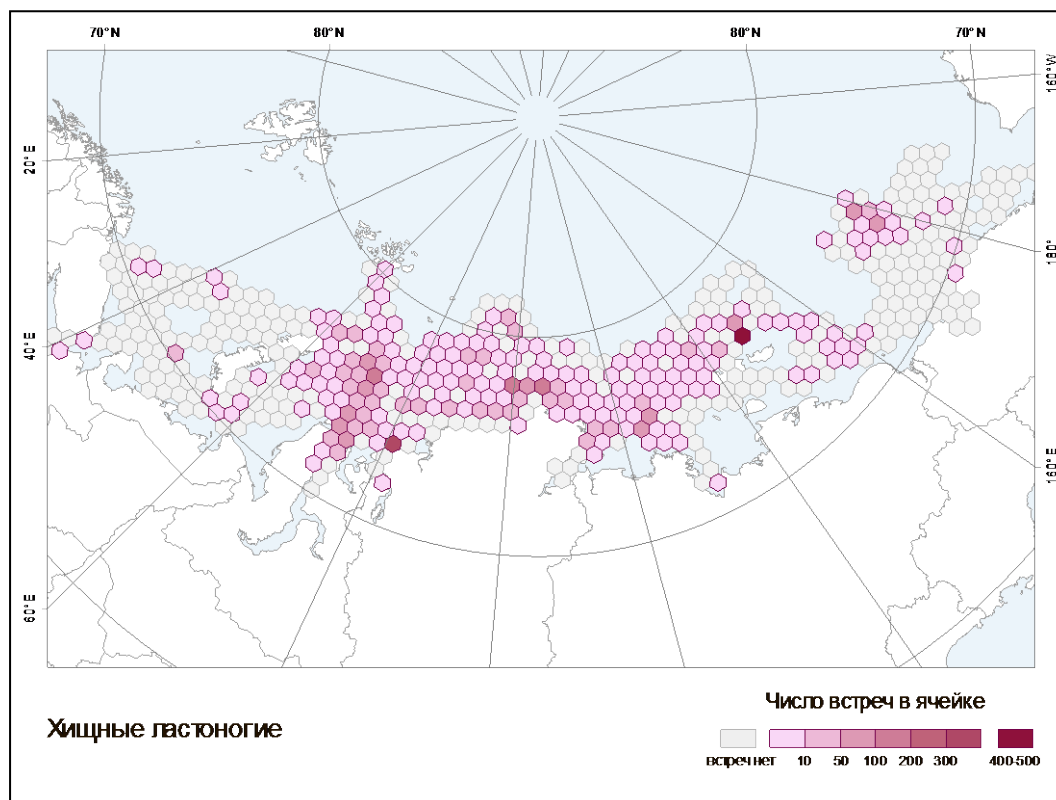


Рис. 2. Распределение встреч хищных ластроногих по результатам двухлетнего периода экспедиций с марта по ноябрь (2014-2015 гг.).

Некоторые виды (морж, морской заяц) определяются их приуроченностью к отдельным участкам акватории, что в свою очередь связано с возможностями добычи объектов питания этих видов и условиями защиты от хищничества белого медведя. Чаще всего эти виды регистрировались близ побережий островов и архипелагов, в акваториях проливов либо в относительной близости от них. Распределение животных также связано с особенностями биологии (суточной и сезонной активностью), погодными условиями и температурным режимом (для настоящих тюленей).

Встречи усатых китов характеризуются высоким видовым разнообразием на периферии Арктической Зоны РФ (Баренцево на западе и Чукотское море на востоке), тогда как в центральной части отмечались встречи только двух видов – гренландского (*Balaena mysticetus* L., 1758) и серого (*Eschrichtius robustus*, Lilljeborg, 1861) китов. Примечательно, что встречи гренландского кита в центральной акватории становятся систематическими, что возможно говорит о том, что этот вид осваивает не привычные для себя, новые акватории. К встречам зубатых китов можно отнести лишь встречи белух в центральной и восточной части Арктической Зоны РФ, тогда как на акватории Баренцева моря, помимо белух, регистрировались представители других видов: косатка, беломордый дельфин,

атлантический белобокий дельфин и обыкновенная морская свинья (Рис 3 и 4).

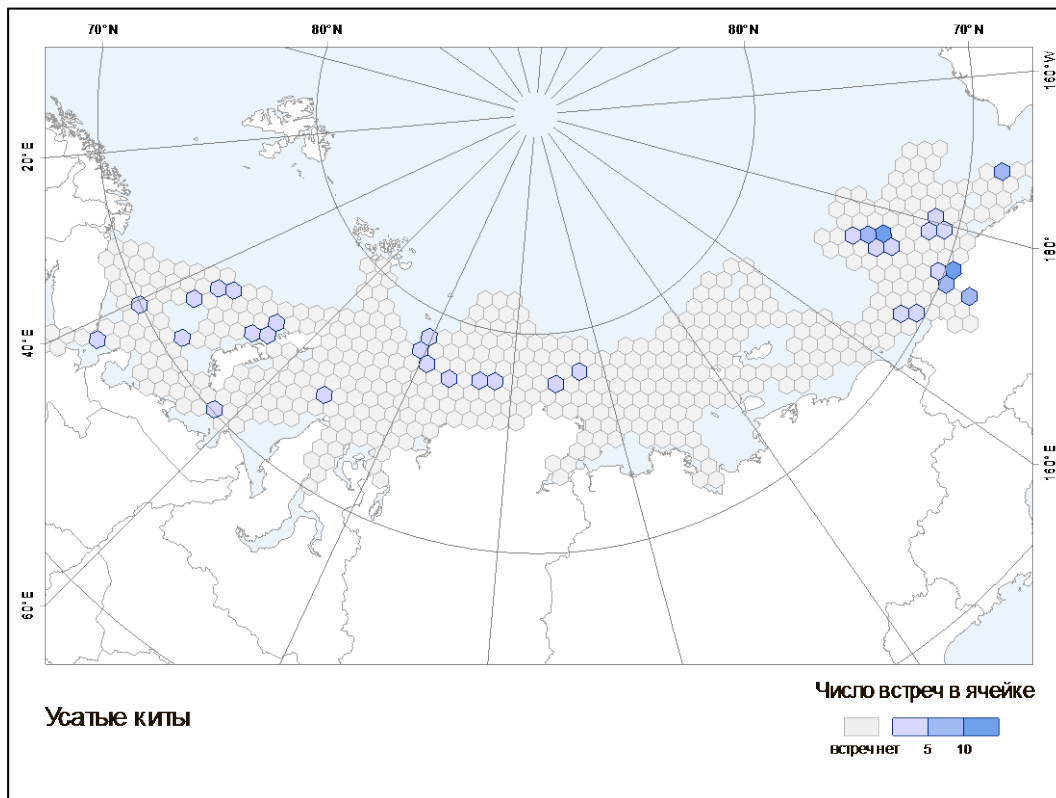


Рис. 3. Распределение встреч усатых китов по результатам двухлетнего периода экспедиций с марта по ноябрь (2014-2015 гг.).

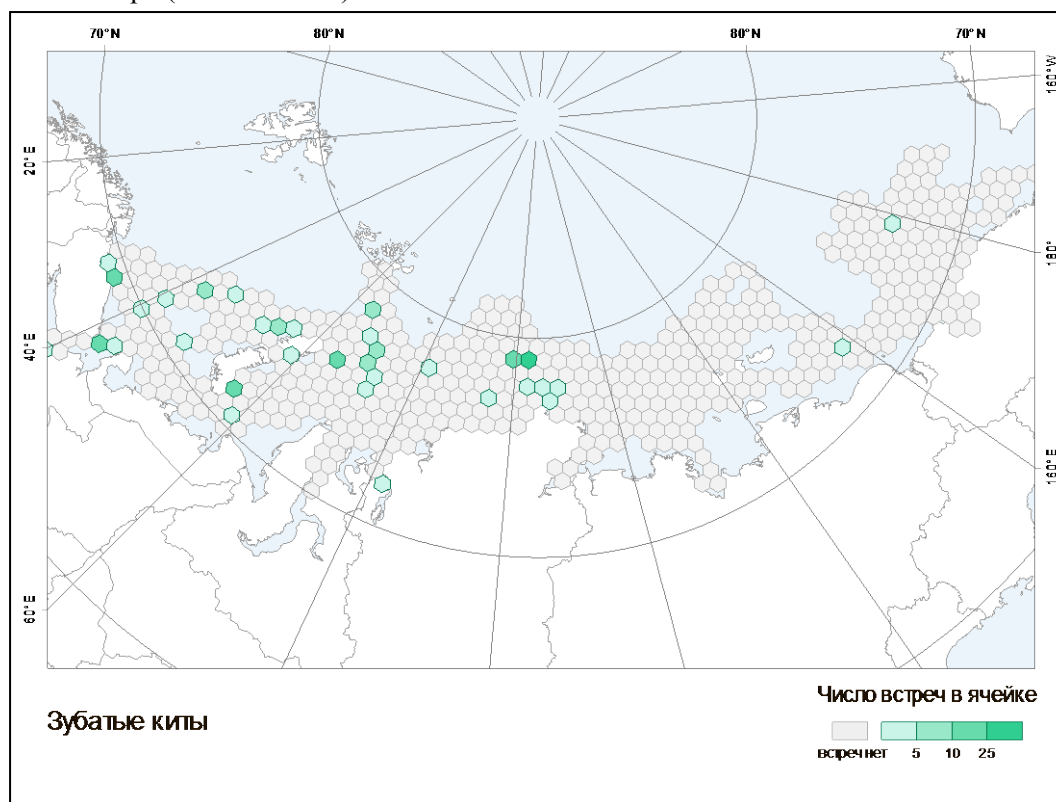


Рис. 4. Распределение встреч зубатых китов по результатам двухлетнего периода экспедиций с марта по ноябрь (2014-2015 гг.).

В целом, важно отметить, что на данный момент, подобные попутные судовые наблюдения при в рамках многоцелевых морских проектов, являются единственно возможным способом,

сбора и актуализации данных о встречаемости, видовом разнообразии, распределении, местах концентрации и плотности морских млекопитающих морей северных широт. Сбор и последующий анализ такого материала позволяет получать не только новые, но и актуализировать ранее собранные данные. Такая информация представляет очень высокую ценность, как для научного сообщества, так и для компаний осуществляющих хозяйственную деятельность в акваториях арктических морей.



## **Учебный курс «Экологическое сопровождение морских проектов».**

**Бадюков Данила Дмитриевич**

*Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, danilab49@mail.ru*

Лекционно-семинарский курс разработан для студентов-океанологов 4 курса и рассчитан примерно на 30 часов аудиторного времени. Цель освоения дисциплины – формирование у студентов современного представления об экологических проблемах, возникающих при морском природопользовании (морепользовании) и возможных путях их решения.

Основная идея настоящего курса состоит в том, чтобы, опираясь на полученные студентами во время обучения в университете знания, рассмотреть, каким образом различные виды хозяйственного использования Мирового океана изменяют состояние его среды (водной, воздушной, геологической) и населяющей его биоты. Для каждого вида хозяйственной деятельности рассматриваются различные пути решения возникающих экологических проблем с помощью естественно-научных, экономических и правовых природоохранных механизмов. Основные задачи, которые при этом решаются, можно сгруппировать в несколько блоков.

В первом блоке рассматриваются общие вопросы морепользования, его специфика как хозяйственной деятельности в особой объемной и относительно однородной среде, не имеющей определенных границ. Важным вопросом, рассматриваемом здесь, представляется классификация видов морского природопользования. В настоящем курсе предлагается типологическая классификация, где высшей иерархической единицей представляется тип морской среды, увязанный с пространственным положением акватории, на которой происходит взаимодействие человека и морской среды. Такой подход сводится в первом приближении на различные пространства – береговое, прибрежно-морское и открытые воды. Далее выделяются пять классов природопользования – ресурсопотребляющий (эксплуатирующий ресурсы), средоформирующий (местоэксплуатирующий), средоохранный, транспортно-коммуникационный и консервационный. Далее, по нисходящей, рассматриваются типы морепользования в каждом классе и, особенно подробно, виды морепользования. Так, в частности, к ресурсопотребляющему классу относится такой тип, как потребление биологических ресурсов, внутри которого выделяются следующие виды морепользования: рыболовство, охотоловство, промысел морских беспозвоночных и водорослей, аквакультура.

Для каждого вида морепользования обозначаются возникающие экологические проблемы. В этом же блоке дается перечень основных инструментов экологического регулирования морского природопользования. Прежде всего, это процедура государственной и общественной экологической экспертизы, оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), различные виды нормирования, лицензирования хозяйственной деятельности, экологическая сертификация (в частности, рыболовства).

Второй блок посвящен нормативно-правовому обеспечению морепользования, подробно рассматриваются процедуры ОВОС и государственной экологической экспертизы. Демонстрируется иерархия правовой базы. Здесь, прежде всего, выделяется Конвенция ООН по морскому праву, принятая в 1982 году и ратифицированная Российской Федерацией в 1997 году, где охране морской среды посвящена часть XII «Защита и сохранение морской среды», а также отдельные статьи в других частях и разделах. Кратко рассматривается Конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78), которая была

ратифицирована СССР в 1983 г., а с 1991 г. членство СССР было продолжено РФ. Эта конвенция направлена на предотвращение загрязнения морской среды вредными веществами или стоками, содержащими такие вещества, путем их сброса с судов. Кроме того, Россия руководствуется международными конвенциями по ООПТ, региональными морскими конвенциями, соглашениями и кодексами. Важно, чтобы студенты поняли приоритет международных правовых документов, как это записано в Конституции РФ (ст.15, ч.4).

Любая хозяйственная деятельность наносит ущерб окружающей среде – основной постулат (презумпция виновности) российского закона №7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Это основной закон, которым следует руководствоваться при планировании того или иного вида морепользования. Из этого закона вытекает следующий, чрезвычайно важный для разработки природоохранных мер – закон №174-ФЗ «Об экологической экспертизе». Именно Государственная экологическая экспертиза решает вопрос об экологической допустимости той или иной деятельности на морской акватории.

Водный кодекс РФ и федеральные законы, регламентирующие деятельность на море и охрану морской среды и ее обитателей, как уже говорилось, не должны противоречить международным договорам. Основные морские федеральные законы РФ представлены №155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне РФ»; №187-ФЗ «О континентальном шельфе РФ»; №191-ФЗ «Об исключительной экономической зоне РФ». Кроме того, при планировании хозяйственной деятельности в море следует руководствоваться и другими федеральными законами – о недрах, атмосферном воздухе, рыболовстве и пр.

Далее вниз по иерархической лестнице располагаются указы президента РФ, постановления правительства РФ, всевозможные СНиПы, СП, РД, ВСН и т.п.

Студенты должны быть ознакомлены с постановлением правительства РФ №87 «О составе разделов проектной документации», а конкретно, со структурой тома «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» (ПМООС) в составе ТЭО строительства. Содержание учебного курса предусматривает рассмотрение ОВОС как составной части тома ПМООС – история процедуры ОВОС, последовательность ее проведения, отличия ОВОС за рубежом и в России. Следует обязательно указать на деградацию процедуры ОВОС в нынешней России. В этом же блоке кратко говорится об оценке ущерба рыбным запасам и другим водным биоресурсам.

В отдельный блок выделено рассмотрение проведения инженерных изысканий в морском строительстве. В обязательном порядке дается краткий обзор нормативных и разрешительных документов, которыми следует руководствоваться при проведении морских изысканий, более подробно разбирается структура раздела ОВОС, предвещающая проведение изысканий.

Далее дается обзор всех видов инженерных изысканий, проводимых на акватории – инженерно-геологических, инженерно-гидрометеорологических, инженерно-экологических, инженерно-геодезических и гидрографических работ. Для каждого вида изысканий рассматриваются поставленные задачи и пути их решения, возникающие экологические и правовые проблемы, комплекс природоохранных мер.

Некоторые используемые при инженерных изысканиях на акватории методы, а именно – изучение строения и свойств верхней части геологического разреза методами бурения и сейсмического профилирования оказывают существенное негативное воздействие на

морскую среду и ее обитателей. Для минимизации этого воздействия разрабатывается ряд мероприятий, среди которых применение при бурении водоотделяющих колонн, запрет на использование буровых растворов с активными химическими реагентами, применение при сейсмических работах так называемого «мягкого старта» и некоторые другие.

Следующий блок предлагаемого учебного курса объединяет различные виды морепользования. Рассматривается экологическое сопровождение мореплавания, рыболовства, добычи и транспортировки морских углеводородов, гидротехнического строительства. По количеству отводимых на этот блок часов, он наиболее объемный.

Экологическое сопровождение мореплавания опирается, прежде всего, на международную конвенцию МАРПОЛ 73/78, а также на региональные международные конвенции по Балтике (Конвенция об охране окружающей среды Балтийского моря – Хельсинская конвенция 1974/1992 гг. и Конвенция о рыболовстве и охране живых ресурсов Балтийского моря и региона – Гданьская конвенция 1973 г.) Черному морю (Конвенция о защите Черного моря от загрязнения – Бухарестская конвенция 1992 г.) и Каспию (Рамочная конвенция по защите морской среды Каспийского моря – Тегеранская конвенция 2003 г.).

В процессе эксплуатации судов различного назначения происходит неизбежное негативное воздействие на морскую среду (включая атмосферу и морское дно) и ее обитателей. Для снижения этого воздействия принимаются определенные меры. Так, основные мероприятия по охране атмосферного воздуха направлены на снижение выбросов загрязняющих веществ – рекомендуется использовать топливо, соответствующее ГОСТу, оптимизировать сроки работы судна на полной мощности, а также и другие технологические приемы, снижающие выбросы (в основном, оксиды азота).

Отходы, образующиеся на судне, разделяются на 5 категорий, требующие отдельного сбора. Утилизация отходов на судне осуществляется тремя способами: сбор мусора в контейнеры, обработка измельчением или прессованием и сжигание в инсинераторах. В соответствии с приложением V конвенции МАРПОЛ 73/78 в зависимости от категории отхода запрещается или ограничивается его сброс в различных районах моря. В некоторых районах и морях (например, на Балтике в территориальных водах) запрещено пользование инсинераторами. Часть бытового мусора разрешается к сбросу в море, но при этом скорость судна должна быть не менее 4 узлов, а сброс производится за пределами 12-мильной зоны. Плавающий мусор разрешается сбрасывать только за пределами 25-мильной зоны.

Мероприятия по защите морских вод сводятся, в основном, к контролю наличия на судне оборудования по сбору и обезвреживанию мусора, загрязненных льяльных, сточных, промывочных вод, контролю факта передачи запрещенных к сбросу отходов и сточных вод специализированным организациям в портах, а также организации контроля за содержанием загрязняющих веществ в морской воде.

Непосредственный промысел водных биоресурсов (рыба, беспозвоночные, водоросли) также нуждается в экологическом сопровождении. Прежде всего, это относится к процедуре обоснования общего допустимого улова (ОДУ), что, по сути, является некоторым аналогом ОВОС, однако действующей только для конкретных водных биоресурсов (ВБР) и не рассматривающей воздействие на экосистемы (приловы, выбросы, воздействие орудий лова на бентос и пр.). На основании определения ОДУ осуществляется расчет ежегодных квот на добычу того или иного вида ВБР. Добывающие организации обязаны не допускать переловов, использования запрещенных орудий лова. Следует отметить, что последние постоянно совершенствуются, становясь более экологичными. Так, в настоящее время

разработаны конструкции донных тралов, которые, используя гидроакустическую аппаратуру, не наносят ущерба бентосным организмам.

Для предотвращения истощения рыбных запасов, разрушения океанических и морских экосистем международным сообществом принимаются определенные меры. Пришло осознание того, что управление промыслом ВБР следует рассматривать с экосистемных позиций, поскольку промысел какого-либо одного вида изменяет трофическую цепь океана в целом. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO) разработала и приняла Кодекс ведения ответственного рыболовства. Очень важным моментом экологизации рыбного промысла представляется экологическая сертификация рыболовства или «зеленый аудит», которая проводится на добровольных началах. Программа сертификации была образована в 1997 г. по инициативе компании Unilever, торгующей рыбой и Всемирным фондом дикой природы (WWF). Был образован Морской попечительский совет (Marine Stewardship Council – MSC), который и внедряет эту программу в жизнь. По желанию добывающих и перерабатывающих организаций, под эгидой MSC, третьей стороной проводится независимый аудит. Оценка дается по трем основным критериям и принципам MSC:

- Состояние запаса
- Влияние промысла на экосистему
- Система управления

Наличие экологического сертификата MSC делает рыбную продукцию более привлекательной для потребителя, особенно на западных рынках.

Экологические аспекты разработки морских месторождений нефти и газа рассматриваются для всех этапов освоения: поисков и разведки, проведения инженерных изысканий, строительства скважин, их эксплуатации и ликвидации. Важно отметить влияние на морские экосистемы геофизических методов изучения геологического строения, особенно сейсмических исследований, а также процессов бурения скважин с использованием буровых растворов. Обсуждается вопрос получения разрешений на проведение исследовательских работ и бурение на шельфе. Кратко рассматривается метод гидроразрыва пласта, используемый при захоронении бурового шлама. Ярким примером служит освоение морских месторождений нефти и газа на северо-восточном шельфе Сахалина. Особое внимание в учебном курсе уделяется разработке программ экологического мониторинга и контроля, их унификации.

Как правило, морские углеводородные ресурсы располагаются на большом удалении от потребителя. Экологические риски при дальнейшей транспортировке нефти и газа достаточно велики. Особенно это относится к транспортировке нефти танкерами и по подводным трубопроводам. Общеизвестны экологические последствия аварийных случаев при танкерной перевозке нефти и нефтепродуктов. Эксплуатация подводных нефтепроводов также не обходится без аварий. Ежегодно в результате аварий на подводных нефтепроводах в морскую среду попадает около 1,5 млн. м<sup>3</sup> нефти и нефтепродуктов.

Гидротехническое строительство, по большей части, осуществляется в береговой и прибрежно-морской зонах, где велика антропогенная нагрузка, вызванная другими видами природопользования, а также воздействием прилегающей суши (в частности, речной сток, несущий загрязняющие вещества, оказывает большое влияние на прибрежные экосистемы). Особое внимание при рассмотрении экологического сопровождения гидротехнического строительства предлагается уделить вопросам дреджинга. Под этим термином понимается

комплекс действий с донными отложениями – дноуглубление (изъятие грунта со дна), перемещение изъятых грунта, его складирование (возможно, переработка) в подводных отвалах (иногда на суше) и повторное использование (как правило, в строительных работах). Дреджинг применяется при строительстве и эксплуатации портов, строительстве и углублении морских каналов, создании искусственных земельных участков в море и еще в ряде случаев, в частности, при подводной добыче полезных ископаемых. Экологические аспекты дреджинга обсуждаются по трем ключевым пунктам – комплексная оценка воздействия дреджинговых проектов, контроль за состоянием морской среды и меры, направленные на снижение негативных последствий.

Заключается предлагаемый учебный курс обзором экологических аспектов комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ-ICZM) и морского пространственного планирования (МПП-MSP). Основное внимание здесь уделяется разрешению потенциальных конфликтов между различными видами природопользования и сохранением морских экосистем (например, проведение дреджинга и сохранение бентоса), а также между различными природопользователями морского пространства (например, прибрежное рыболовство и добыча углеводородов на шельфе).

Все разделы учебного курса «Экологическое сопровождение морских проектов» иллюстрируются конкретными примерами морских проектов, проходивших государственную экологическую экспертизу, с соответствующими схемами, картами, фотоснимками.

**Антропогенная литодинамика Керченского пролива как один из механизмов трансформации его донных биоценозов».**

**Дмитрий Яковлевич Фащук\*. Сергей Константинович Ковальчук\*\*, Александр Сергеевич Терентьев\*\*\***

\* *Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН), Москва*

\*\* *Крымское республиканское предприятие "Противооползневое управление", Ялта*

\*\*\* *Южный НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии (ЮгНИРО), Керчь*

Одной из причин установленных нами фактов существенных трансформаций биоценозов и отдельных популяций макрозообентоса Керченского пролива за последние 35 лет [Фащук и др., 2012] могло стать *нарушение естественного процесса осадконакопления в результате хозяйственной деятельности*. Для исследования данной гипотезы мы оценили особенности распределения и многолетней динамики литолого-фациальных типов донных осадков пролива и их связь с состоянием популяций макрозообентоса пролива.

### **Использованные материалы**

Для ретроспективной оценки типов и структуры донных осадков, особенностей их пространственного распределения мы проанализировали фондовые данные ЮгНИРО по геологии Керченского пролива (съемки 1986 и 1990 гг. - по 138 станций через 1 км) и литературные данные аналогичных исследований сотрудников Института геологических наук АН УССР (1975-1976 - 140 станций через 1 км) [Шнюков, 1981].

Для оценки современных типов и гранулометрического состава осадков пролива в августе 2008 г. Институтом географии РАН было выполнено водолазное обследование (съемка) дна Керченского пролива в территориальных водах Украины [Фащук, 2009]. В ходе погружений осуществлялся прямой отбор проб донного грунта в 49 точках пролива с интервалом 1 миля. Типы грунтов и их гранулометрический состав выделялись и исследовались по результатам анализа проб, выполненных в аналитической лаборатории Института океанологии РАН сотрудницами минералого-петрографической группы А.Н.Рудяковой и В.П.Казаковой.

Методом сравнительного анализа оценивалась динамика распределения полей: грубообломочной – > 1 мм, песчаной - 1,0-0,1 мм, алевритовой – 0,1-0,01 мм, и глинистой – < 0,01 мм) фракций в осадках Керченского пролива, выявлялись тенденции их пространственно-временной изменчивости. Для подтверждения результатов анализа динамики литолого-фациальных типов донных осадков Керченского пролива мы рассчитали и исследовали динамику содержания в них (%) частиц соответствующих размеров.

### **Полученные результаты**

Донные осадки Керченского пролива представлены продуктами абразии берегов Керченского и Таманского полуостровов. Средняя скорость абразии западных (крымских) берегов пролива за период 1930-1980 гг. составляла 0,3-0,4 м/год. Наиболее сильно подвержены разрушению участки берега от мыса Такиль до пос. Героевское. Средняя скорость отступления берега здесь (район Тобечикского озера и пос. Заветное) составляет 0,6 м/год при максимуме 0,9-1,0 м/год. Значительную долю в общий баланс донных осадков пролива вносят терригенный материал аллювия рек палео-Дона и палео-Кубани, а также ракуша - продукт жизнедеятельности лиманно-морских организмов. Средняя скорость

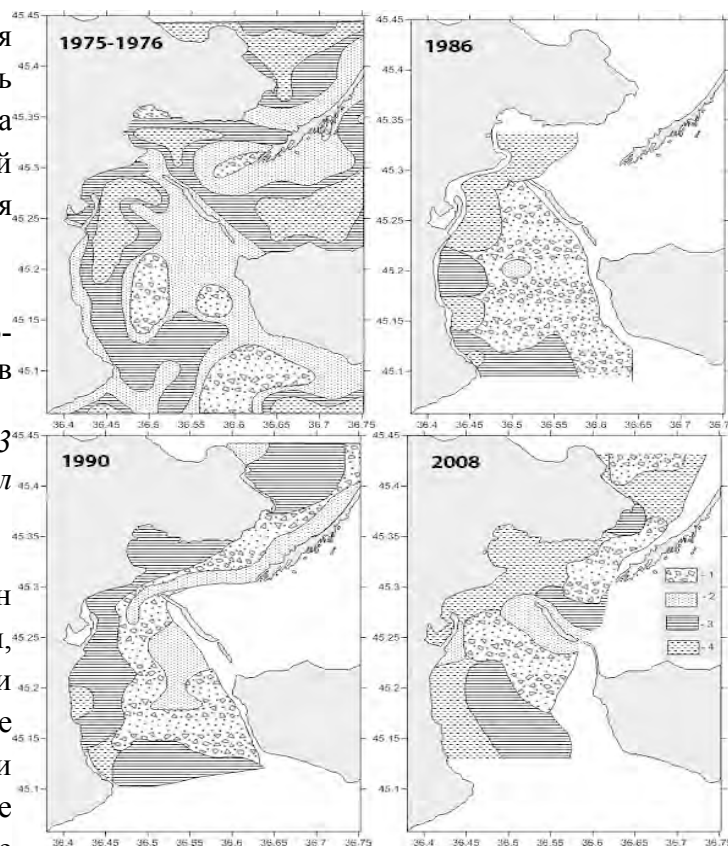
осадконакопления в проливе составляет 5,9 мм/год – в 2-3 раза выше темпов осадконакопления в южной части Азовского моря (1,8-3,0 мм/год), Таманском заливе (3,3 мм/год) и на порядок выше средней на шельфе Черного моря (0,4-0,6 мм/год) [Шнюков, 1981].

**В 1975-1976 гг.** центральная часть пролива южнее о. Тузла вплоть до южного устья была занята ракушечными грунтами с разной долей песка и степенью заиления (рис.1).

Рис.1. Динамика литолого-фациальных типов донных осадков Керченского пролива.

1- ракушечный детрит, 2 – песок, 3 – ил мелкоалевритовый, 4 – ил алеврито-глинистый.

На периферии пролива до глубин 3-5 м залегали песчаные отложения, слагавшие также косы Тузла и Чушка, отдельные обособленные отмели, узкие полосы осевой части юга пролива. При этом Таманское побережье отличалось более



широкими полями донных песков кварцевого, реже кварцево-раковинного состава, распространявшимися к югу вплоть до середины пролива. На взморье вдоль крымского берега также располагалась узкая полоса крупно- и среднезернистого песка, состоящего из карбонатного материала. Западная часть пролива, его северное устье и дно Таманского залива были заняты мелкоалевритовыми и алеврито-глинистыми илами.

**В 1986 г.** центральная и восточная (таманская) часть Керченского пролива была занята ракушечными грунтами с содержанием песка от 6,8 до 40,3%, но чаще – 15-25%. Вдоль западного (крымского) побережья пролива как и 10 лет назад располагалась полоса (2-3 мили) илистых грунтов – мелкоалевритовые и алеврито-глинистые илы. Здесь их ареалы чередовались, а в южном устье пролива от мыса Такиль зона алеврито-глинистых илов расширялась до 5-6 миль и занимала большую часть пролива.

**В 1990 г.** значительную часть дна пролива занимали плохо сортированные ракушечные грунты. Они распространялись по его оси с севера на юг, примыкая к таманскому берегу в северной (м. Ахилеон) и южной частях (м. Такиль и м. Панагия), заменив преобладавшие здесь в 1975-1976 гг. кварцево-раковинные пески.

В центре пролива между о. Тузла, косой Чушка (с востока) и м. Белый, Керченской бухтой (с запада) полоса ракушечных грунтов становилась тоньше, а в районе пос. Заветное (юго-запад пролива) вновь расширялась, вытягиваясь к крымскому берегу. На севере пролива у м. Хрони (крымский берег), в 1990 г. возник ареал плохо сортированных средне- и мелкозернистых песков с детритом ракуши. Аналогичные осадки сохранились (как и в 1975-1976 гг.) вдоль побережья косы Чушка, в Павловской узости (между о.Тузла и мысом



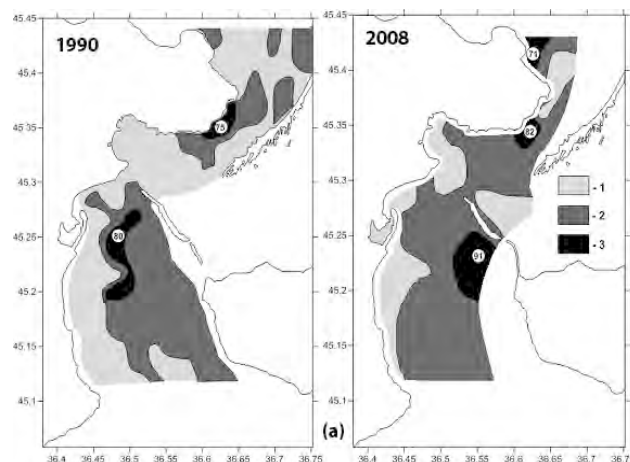
Белый), а также к югу от о. Тузла. Южное устье пролива в 1990-м было занято мелкоалевритовыми илами. При этом в прибрежной зоне в районе пос. Заветное и Героевское, появились обширные заиленные участки с алеврито-глинистыми осадками. Илы здесь были однородными, хорошо сортированными, без включений ракушки. Мощность свежего переосажденного ила составляла 0,5-2 см при максимуме 7 см - в районе мыса Малый (пос. Заветное).

В 2008 г. полоса ракушечных грунтов в южной части пролива существенно сократилась. В то же время в районе м. Хрони (северное устье) ракушечный детрит заменили средне- и мелкозернистые пески, а алеврито-глинистый ил занял здесь место мелкоалевритового. Аналогичное заиление произошло и вдоль всего крымского побережья пролива, практически, до его южного устья. При этом центр южной части пролива оказался тоже заиленным – ракушечники сменились здесь мелкоалевритовыми илами.

Для подтверждения результатов анализа динамики литолого-фациальных типов донных осадков Керченского пролива мы исследовали распределение и динамику содержания в них (%) частиц разных классов крупности (рис.2). В результате было установлено:

1. **Ракуша.** С 1990 по 2008 г. полоса осадков с содержанием ракушки до 80%, тянувшаяся вдоль фарватера в южной части пролива, сместилась в восточном направлении к о. Тузла. В районе юго-восточной оконечности острова (перед Тузлинской промоиной) образовалась обширная область с содержанием ракушки до 91% (рис.2а).

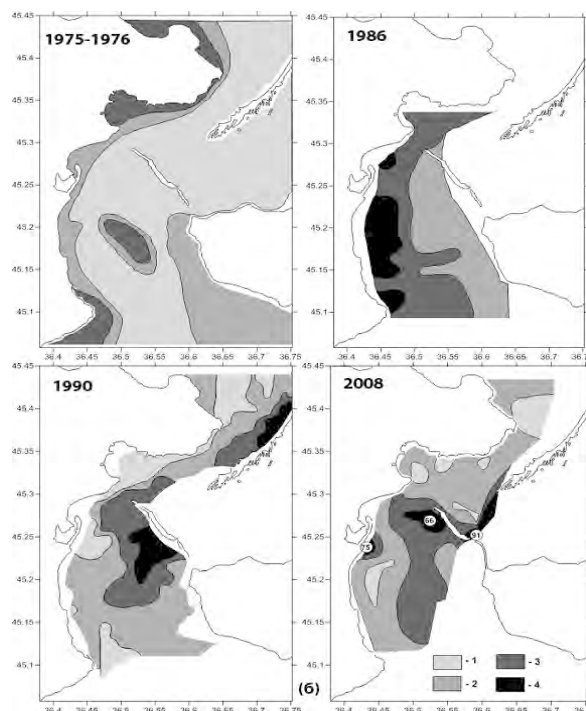
Рис.2. Динамика распределения гранулометрических фракций (%) осадков Керченского пролива. Фракции: а – ракушечный детрит (>1 мм), б - песок (1,0-0,1 мм), в – алеврит (0,1-0,01 мм), г - пелит (<0,01 мм). Ракушечный детрит: 1 - <20; 2 – 20-50; 3 - >50%. Песок, алеврит, пелит: 1 - <10; 2 – 10-30; 3 – 30-50; 4 - >50%.



При этом, вдоль западного побережья северной части пролива от пос. Жуковка до м. Змеиный участки дна с преобладанием этой фракции осадков сохранились, а доля ракушки в них увеличилась с 75 до 82%. За это же время в северном устье пролива (м. Фонарь - м. Зюк) также возникли зоны максимумов (71%) ракушки в осадках.

2. **Песок.** С 1975 до 1986 гг. зоны с максимальным содержанием песка (30-50%) в осадках сохранялись вдоль западного побережья пролива (до глубин 3-5 м) от Керченской бухты на север до м. Хрони и от пос. Заветное на юг до м. Такиль в его южной части (рис.2б).

При этом участки с высоким содержанием песчаной фракции к 1986 г. распространились



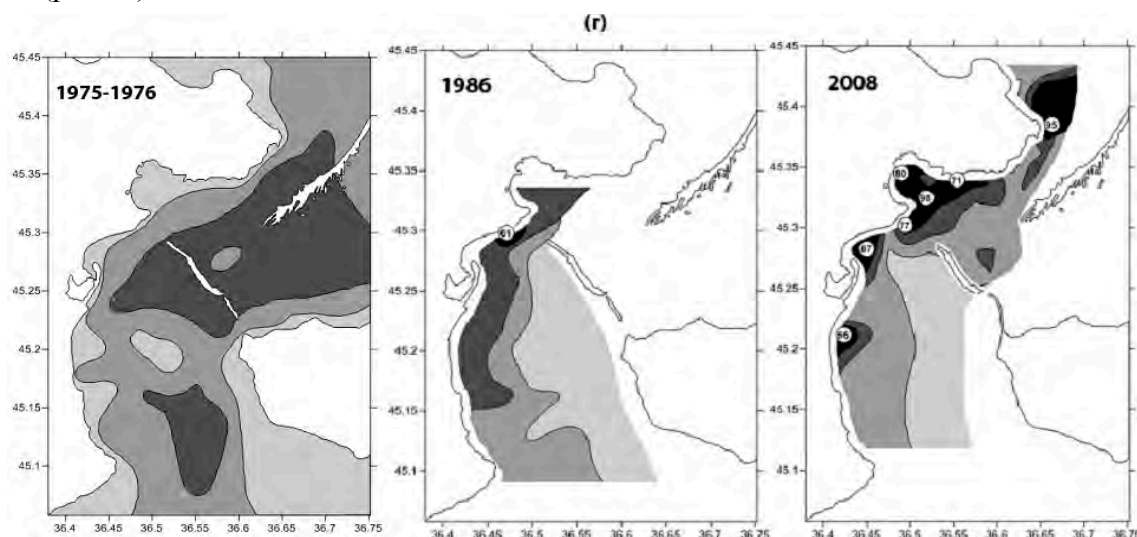
все западное побережье пролива, расширившись до глубин 5-7 м, а доля песка в осадках увеличилась здесь до >50%. В восточном же направлении она снижалась до 10-30%.

К 1990 г. распределение песчаной фракции в осадках пролива принципиально изменилось. Содержание песка вдоль всего западного побережья пролива снизилось до <10%, а зоны максимумов (50% и более) сместились на восток к о. Тузла и косе Чушка. В 2008 г. такая картина сохранилась, но при этом доля песчаной фракции в зоне Тузлинской промоины увеличилась до 91% (результат размыва дамбы), а вдоль западного побережья она возросла до 10-30%. Кроме того, южнее Камыш-Бурунской косы возник новый локальный максимум (75%), также свидетельствующий о начале ее размыва.

3. **Алеврит.** С 1975 по 1986 гг. в осадках западного побережья пролива преобладал крупный алеврит с максимумом (41%) в Керченской бухте. В этот же период в осадках центральной части пролив преобладала мелкая его составляющая с локальными максимумами (43,8%) в северном устье и южнее о. Тузла. К 1986 г. осадки с максимальным содержанием этой фракции вдоль западного побережья пролива сохранились, но при этом доля уже суммарного алеврита в них увеличилась до 30-50%, а в локальном районе (пос. Аршинцево) до 79% - мелкий алеврит также сместился к западному побережью (рисунок не приводится).

К 1990 г. процесс роста доли алеврита в осадках западной части пролива продолжился – зоны с его максимальным содержанием (>50%) распространились от берега на глубины более 5 м и заняли практически всю западную половину пролива от северного устья до м. Такиль.

4. **Пелит.** С 1975-1976 по 2008 гг. в проливе отмечается устойчивая тенденция увеличения доли пелитовой фракции в осадках вдоль западного (крымского) побережья и снижение содержания мелкодисперсных частиц в осадках центральной и восточной его частей (рис.2г).



За последние 35 лет доля пелита в осадках западного побережья пролива увеличилась с 10-30% до 30-50% с локальными максимумами в северном устье (95%), Керченской бухте (до 98%), пос. Аршинцево (87%), пос. Героевское (66%).

Таким образом, вывод о заилении в течение последних 35 лет (с 1975 по 2008 гг.) дна западного (крымского) побережья Керченского пролива, сделанный нами на основании качественного анализа - динамики литолого-фациальных типов донных осадков, получил количественное подтверждение результатами анализа динамики очагов концентрации их гранулометрических фракций.

## Нефтяное загрязнение в районе Керченского пролива.

**Тихонова Елена Андреевна, Соловьёва Ольга Викторовна**

*ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь*

Проблема нефтяного загрязнения по сей день остаётся актуальной как для Чёрного моря в целом, так для Крымского побережья в частности. По мнению многих авторов, в последние 10 лет, в период активизации экономической деятельности в приморских регионах, возросла загрязнённость нефтепродуктами. Наиболее активная транспортировка нефти осуществляется в Керченском проливе, что может приводить к самым опасным для акватории залповым выбросам (сотни, тысячи тонн) нефти или нефтепродуктов в результате аварий, как, например, при катастрофе в Керченском проливе в ноябре 2007 г. При этом, пролив является зоной с подвижными водными массами, и поллютанты попадающие в воды, зачастую выносятся за его пределы. При этом актуальным остаётся вопрос, как сильно страдает биота данной акватории от существующего антропогенного пресса. Для определения этого наиболее достоверной индикаторной средой являются донные отложения, накапливающие в себе следы хронического загрязнения акватории. Водные массы, не являясь надёжным индикатором хронического загрязнения, могут быть индикатором свежего загрязнения. Целью работы была оценка нефтяного загрязнения акватории, включавшая в себя определение содержания нефтяных углеводородов (НУ) в воде, а также НУ и хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) в донных отложениях Керченского предпроливья как со стороны Азовского, так и Чёрного морей.

Пробы донных отложений отбирались во время 83-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (январь-февраль 2016 г.) по сетке станций (рис.1), расположенных в причерноморской и приазовской акватории Керченского пролива. Глубина на точках отбора на станциях 16 – 19, расположенных в акватории Азовского моря, глубины не превышали 9 – 18 м, в Чёрном море – 28 м.



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в 83-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий».

Донные отложения отбирали с помощью автоматического коробчатого дночерпателя (Box corer) с площади 25×25 см и дночерпателя «Океан-50». Для анализа использовали верхний 5-см слой. Все пробы упаковали в специальные контейнеры и маркировали.

В свежееотобранных пробах донных отложений на борту судна проводили измерение величин рН и Eh рН-метром-термометром «Нейтрон-рН». В лабораторных условиях осадки высушивали до воздушно-сухого состояния, растирали в ступе и часть пробы просеивали

через сита с диаметром ячеек 0,25 мм для определения концентраций НУ и ХЭВ. В подготовленных таким образом пробах определяли общее количество ХЭВ – весовым методом, НУ – методом инфракрасной спектроскопии на спектрофотометре ФСМ-1201.

Первичную обработку отобранной морской воды для дальнейшего определения в ней НУ проводили непосредственно на судне. Для этого в пробы, отобранные с поверхностного и придонного горизонта глубин, добавляли тетрахлорметан ( $CCl_4$ ) из расчёта 20 см<sup>3</sup> на 2 дм<sup>3</sup> для последующей экстракции. Дальнейшую обработку проводили на берегу в лабораторных условиях с использованием общепринятой методики, разработанной в ГОИН (Руководство..., 1977). Измерение концентрации НУ также производили на фурье-спектрофотометре ФСМ-1201.

В пробах, отобранных с поверхностного горизонта, отмечался существенный разброс содержания НУ: от 0.0027 в черноморской до 0.003 мг/дм<sup>3</sup> в азовской акваториях. В придонном слое в исследуемом районе величина не превышала 0.0027 мг/дм<sup>3</sup>. Полученные результаты ниже предельно-допустимой концентрации (ПДК=0.05 мг/дм<sup>3</sup>). В целом, в отношении нефтяного загрязнения вод Керченского пролива в литературе содержатся противоречивые данные о содержании данного поллютанта. Если в (Ларин, 2011; Матишов, 2013) указывается на существенное превышение ПДК, то в работе (Петренко, 2014) приведены значения, ниже установленных санитарных норм. Результаты наших исследований также не выявили нефтяного загрязнения вод в данном районе. Вероятно, такое различие в результатах связано с подвижностью водной среды, которая не может служить надёжным индикатором хронического нефтяного загрязнения, в отличие от донных отложений, которые являются более стабильным субстратом и накопление загрязняющих веществ в них происходит постоянно.

Таким образом, донные осадки исследуемой акватории характеризовались следующими параметрами. Активная реакция среды в них была слабощелочной, показатель рН колебался в пределах 7,54 – 7,82. Окислительно-восстановительный потенциал непосредственно зависит от гранулометрического состава донных отложений. Восстановительными условиями среды (отрицательным Eh) обладали морские грунты лишь на мелководной станции в Азовском море ст. 2 (11 м) с показателем Eh – 165 мВ. При этом на данной станции они отличались присутствием большого количества разложившейся органики и резким запахом сероводорода. Донные осадки в причерноморской акватории Керченского пролива имели окислительные условия среды с самым высоким значением Eh = +110 мВ, в Азовском море – слабовосстановленные (Eh= +1...+44 мВ), за исключением, как было отмечено ранее, ст. 2. Данные условия способствуют накоплению углеводов, т.к. при низком Eh среды замедлены процессы преобразования битумоида.

В Азовском море концентрации ХЭВ несколько выше по сравнению с данными черноморской акватории и составляли от 107 до 187 мг/100 г, что соответствует III уровню загрязнения, тогда как в Чёрном море – II уровень загрязнения. Таким образом, более высокие значения ХЭВ были отмечены в донных осадках Азовского моря, где они достигали 187 мг/100 г, а также на ст. 1 (72 мг/100 г) на входе в Керченский пролив со стороны Чёрного моря. Данные показатели можно объяснить большим объёмом антропогенной нагрузки.

Для донных осадков Азовского моря максимальные зафиксированные значения (187 мг/100 г) соответствуют полученным нами в 2010 г. (186 мг/100 г) (Тихонова, 2012). В целом концентрации ХЭВ не превышали отмеченных ранее и характерных для исследуемого района (для ракушняка – 20 мг/100 г, для пелитовых илов – до 230 мг/100 г (Миронов,

1996)). Полученные данные о характеристиках донных отложений соответствуют ранее описанным результатам и их можно характеризовать как природно-чистые (Крыленко, 2013; Тихонова, 2015).

Что касается нефтяного загрязнения, то оно минимально в акватории как Чёрного, так и Азовского морей. В основном, на большинстве исследованных станций отмечены следовые количества (до 5 мг/100 г) (рис. 5). Однако, в морских грунтах Азовского моря в 2010 г. лишь на 65 % обследованных станций концентрация НУ в донных осадках составляла менее 5 мг/100 г (Тихонова, 2012), тогда как в настоящее время нами отмечены количества выше следовых на 100 % станций. Но данный уровень нефтяного загрязнения не превышал величин, характерных для чистых и слабозагрязнённых акваторий Чёрного моря.

Максимальные значения НУ зафиксированы на ст. 1 (10,3 мг/100 г) при входе в Керченский пролив и на ст. 2 (10,2 мг/100 г) в Азовском море, что является закономерным для данной судоходной акватории. Если ранее в период с 2007-2010 гг. (Тихонова, 2012) отмечено некоторое снижение концентрации ХЭВ и НУ, то нами в настоящее время получены более высокие значения указанных показателей. В причерноморском районе Керченского пролива содержание ХЭВ составило 72 мг/100 г, тогда как в 2010 г. – 30,2 мг/100 г; НУ – 10,3 мг/100 г, а в 2010 г. – 3,4 мг/100 г. То есть зафиксированные концентрации ХЭВ и НУ в 3 раза больше по сравнению с данными 2010 г. Это говорит о современных процессах накопления нефтяного загрязнения, связанными с хроническим поступлением нефтепродуктов в воды пролива и предпроливья.

### **Список литературы**

1. Крыленко М. В., Крыленко В. В. Научное обеспечение сбалансированного планирования хозяйственной деятельности на уникальных морских береговых ландшафтах и предложения по его использованию на примере Азово-Черноморского побережья // Отчёт по НИР. 2013. Т. 7 Азовское море. Южное отделение Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН. Геленджик. С. 1157.
2. Ларин А.А., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В. и др. Загрязнение прибрежной акватории российского Причерноморья нефтяными компонентами // Морск. экол. журн. – 2011. (спец. вып. 2.) – С. 49 – 55.
3. Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.И., Савицкий Р.М. Воздействие на среду и биоту аварийного разлива нефтепродуктов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. // Водные ресурсы. – 2013. – 40 (3). – С. 259 – 273.
4. Миронов О. Г. Санитарно-биологическая характеристика Азовского моря // Гидробиол. журн. 1996. Т. 32. № 1. С. 61–67.
5. Петренко О. А., Жугайло С. С., Авдеева Т. М., Аджиумеров С. Н. Содержание нефтепродуктов в водной среде, донных отложениях и почве рекреационной зоны г. Керчи и о. Коса Тузла // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – 10, Вып 1. – С. 818 – 821.
6. Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 208 с.
7. Тихонова Е. А., Гусева Е. В. Динамика нефтяного загрязнения донных осадков и прибрежных наносов Керченского пролива после аварийного разлива мазута в ноябре 2007 г. // Материалы 7-ой междунар. научн. конференции «Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона». Керчь. 2012. Т. 1. С. 253–255.

8. Тихонова Е. А., Бурдян Н. В., Соловьёва О. В., Дорошенко Ю. В. Химические и микробиологические показатели донных отложений Керченского пролива после аварии судна «Волгонефть-139» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. М.: ВНИИОЭНГ, 2015. № 4. С. 12– 16.

**Организация и проведение фонового экологического мониторинга в мелководной части Северного Каспия в районе деятельности ООО «Каспийская нефтяная компания».**

**Курапов Алексей Александрович<sup>1</sup>, Попова Наталья Викторовна<sup>2</sup>,  
Умербаева Роза Ивановна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Каспийский филиал ФГБУ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,*

<sup>2</sup>*ООО «Каспийская нефтяная компания»*

ООО «Каспийская нефтяная компания» осуществляет деятельность по поиску и разведке запасов углеводородного сырья на своем лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» с 2001 года. С самого начала геологические работы сопровождаются мониторингом состояния морской среды, который позволяет отслеживать изменения уровня загрязнения морской среды и состояния биологических сообществ. Программа производственного экологического контроля (мониторинга) на лицензионном участке ООО «Каспийская нефтяная компания» включает в себя региональные экологические исследования, охватывающие весь лицензионный участок компании (рис. 1), а также локальные экологические исследования, проводимые на акватории отдельных месторождений. Эти виды мониторинга отличаются не только охватом акватории, но и составом наблюдений.

Региональные экологические исследования проводятся два раза в год и включают в себя гидрохимические, гидробиологические, микробиологические, ихтиологические, териологические, орнитологические исследования, а также исследования загрязненности морских вод и поверхностного слоя морских осадков. Одновременно с региональными экологическими исследованиями проводятся сопутствующие наблюдения (метеорологические, гидрологические и седиментологические), необходимые для интерпретации полученных данных.

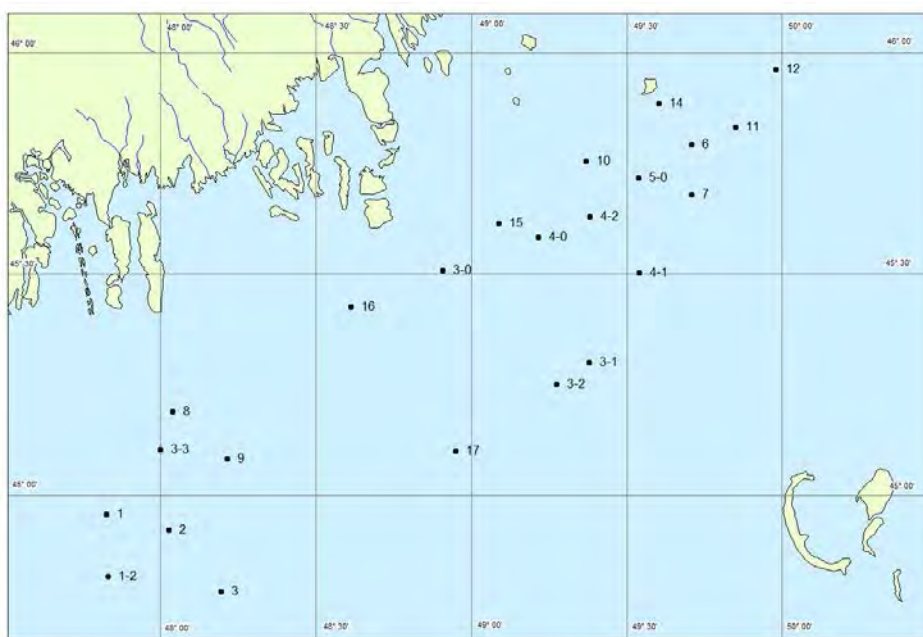


Рис. 1. Схема расположения станций производственного экологического контроля (мониторинга) на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» ООО «Каспийская нефтяная компания».



Лицензионный участок «Северо-Каспийская площадь» расположен в мелководной части Северного Каспия, примыкающей к предустьевому волжскому пространству – от Волго-Каспийского канала на западе до Кулалинского порога на востоке. Рельеф дна осложнен наличием банок, островов, подводных бороздин. Глубина моря в районе лицензионного участка небольшая (3-7 м), что способствует хорошему перемешиванию вод. Близость к дельте Волги определяет существенную роль речного стока в формировании гидролого-гидрохимических и геохимических условий, уровня загрязненности морской среды и биологических процессов на рассматриваемой акватории. Следует отметить, что подъем уровня моря, обусловленный увеличением речного стока, благоприятно отразился на гидрохимическом режиме Северного Каспия. Так, данные комплексных экологических исследований на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» подтверждают, что в настоящее время его воды богаты биогенными элементами, имеют благоприятный трофический и кислородный режим, при этом наибольшей трофностью отличается его западный район, прилегающий к Волго-Каспийскому каналу.

По данным экологического мониторинга, который проводится компанией с 2001 года, западный район участка, куда и поступает основная часть волжского стока, является наиболее опресненным. Распределение на акватории участка большинства гидрохимических и микробиологических показателей морской среды во многом совпадает с распределением солености и повышается от моря к берегу и с востока на запад.

О влиянии речного стока на формирование биотических компонентов морской среды в районе лицензионного участка также указывает преобладание пресноводных видов, особенно среди планктонных организмов. Так, по материалам исследований 2014 г. на акватории лицензионного участка 52,4 % видового состава фитопланктона имели пресноводное происхождение, 48,6 % общей численности зоопланктона составлял пресноводный вид *Bosmina longirostris*. Несмотря на превосходство видов пресноводного комплекса, в данном районе моря обитают также виды солоноватоводные и морские виды, концентрация которых возрастает в осенний период, когда воздействие речных вод ослаблено.

В целом, район является достаточно продуктивным. По данным экологического мониторинга на акватории лицензионного участка отмечено 15 видов полупроходных и речных, 4 вида проходных и более 20 видов морских рыб.

В заключении отметим, что за весь период мониторинговых исследований на акватории лицензионного участка «Северо-Каспийская площадь» каких либо признаков негативного воздействия осуществляемой здесь производственной деятельности компании на формирование биоресурсов выявлено не было. Тем не менее, компания проводит весь комплекс природоохранных мероприятий, направленных на сохранение биологического потенциала данного района моря.

# **СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

## **GPS-технологии мониторинга береговых процессов Азово-Черноморского побережья Российской Федерации.**

**Марфин Артём Александрович<sup>1</sup>, Глазырин Евгений Анатольевич<sup>1</sup>,  
Клубнева Ольга Викторовна<sup>1</sup>, Шестопалов Валерий Леонидович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ГНЦ ФГУГП «Южморгеология», г. Геленджик

<sup>2</sup> ЮНЦ РАН. Г. Ростов-на-Дону

Развитие хозяйственной деятельности в прибрежных зонах становится в последние годы все более важной проблемой для государственных структур управления, которые в пределах своих административных границ сталкиваются с проявлениями опасных геологических процессов (эрозия берегов, оползни, наводнения, подтопления и др.).

Это особенно актуально в районах Азово-Черноморского побережья, где активные эрозионные процессы приводят к нарушению равновесных береговых форм, что напрямую способно повлиять на устойчивость природно-хозяйственных комплексов (Матишов и др., 2010).

В ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» в рамках Государственного мониторинга состояния геологической среды в 2012 - 2015 гг. выполнялись береговые маршрутные геологические исследования (БМГИ) для выявления и оценки интенсивности опасных геологических процессов (ОГП) береговой зоны Азово-Черноморского побережья Российской Федерации. Разработанная технология этих работ использует как традиционные фотометрические средства наблюдения, так и современные методы топометрических GPS-измерений (высокоточная привязка берегового клифа в режиме Real Time Kinematic (RTK)) с целью определения абсолютной величины и скорости отступления берегового клифа на участках развития абразионно-обвальных и оползневых процессов (Глазырин и др., 2013).

В результате исследований по характеру и интенсивности опасных береговых геологических процессов Азовскую прибрежно-шельфовую зону (ПШЗ) можно разделить на Ейский, Шиловский и Приморско-Ахтарский районы. Таманскую зону можно разделить на Темрюкский и Таманский районы, которые значительно отличаются характером и скоростью отступления берегового клифа. Береговые исследования проводились на реперных участках выделенных районов ПШЗ, их общая протяженность на Азовском побережье составила 80 км.

Наиболее активное отступление берегового клифа в результате абразионных и эрозионно-гравитационных процессов происходит на абразионно-обвальных берегах Азовского побережья (Ейский, Шиловский и Приморско-Ахтарский районы).

Приморско-Ахтарский район по характеру абразионных процессов характеризуется наиболее высокими темпами отступления берегового клифа, что подтверждается как результатами фотометрических работ, так и топометрическими GPS-измерениями (табл. 1). Оценки среднего отступления кромки берегового клифа, полученные методом RTK, были экстраполированы на все исследованные районы береговой зоны (табл. 1).

Современное тектоническое поднятие на мысе Каменный, образовавшееся в начале лета 2011 г., продолжает активно размываться (Рис. 1). Площадь видимой части поднятия в 2011 г. составляла 32920 м<sup>2</sup>, в июне 2015 г. площадь уменьшилась до 22139 м<sup>2</sup>, где в результате абразионного воздействия размыто 10781 м<sup>2</sup>. Средняя скорость абразии поднятия у м. Каменный в 2015 г. составила 5,1 м/год.

Таблица 1. Экстраполированные количественные величины по районам береговой зоны Азовского моря.

Район береговой зоны	Год	Протяженность абразионных берегов, км	Площадь отступления, м <sup>2</sup>	Среднее отступление берегового клифа, м
Ейский	2012	71	14200	0,2
	2013	71	7100	0,1
	2014	71	21300	0,3
	2015	71	28400	0,4
	за 4 года	71	71000	0,3
Шиловский	2012	17	35700	2,1
	2013	17	20400	1,2
	2014	17	15300	0,9
	2015	17	14000	2,0
	за 4 года	17	85400	1,5
Приморско-Ахтарский	2012	13	5200	0,4
	2013	13	44200	3,4
	2014	13	29900	2,3
	2015	13	10920	0,8
	за 4 года	13	90220	1,7
Темрюкский	2012	33	13200	0,4
	2013	33	23100	0,7
	2014	33	11220	0,3
	2015	33	9900	0,3
	за 4 года	33	57420	0,7

В результате исследования экзогенных геологических процессов Азовского побережья в 2015 году можно сделать ряд выводов:

скорость разрушения (отступления) берегового клифа зависит в основном от слагающих пород, его высоты, абрадирующего влияния морских волн, интенсивности атмосферных осадков и происходит с разной скоростью:

- 1) Шиловский район – средняя скорость отступления за 2015 г. 2,0 м;
- 2) Приморско-Ахтарский район – 0,8 м;
- 3) Ейский – средняя скорость 0,4 м;
- 4) Темрюкский – средняя скорость 0,3 м.

скорость отступления клифа Азовского побережья в 2015 г. неравномерна: скорость отступления берегов Шиловского и Ейского районов продолжает расти, тогда как в Приморско-Ахтарском районе она значительно ниже уровня 2014 года, а в Темрюкском остается на прежнем уровне.

по классификации уровней опасности береговой абразии районы береговой зоны разделены по активности отступления берегового клифа:

- 1) отступление чрезвычайно высокого уровня (более 2 м/год) зафиксировано в Шиловском районе береговой зоны;

2) высокий уровень опасности (от 0,5 до 2,0 м/год) наблюдался в Приморско-Ахтарском районе;

3) среднему уровню (от 0,1 до 0,5 м/год) соответствуют Ейский и Темрюкский районы береговой зоны;

4) низкого уровня (отступление от 0 до 0,1 м/год) в пределах Азовского побережья не наблюдается.

- по экстраполированным количественным данным за четыре года от Ейского до Таманского районов (включая небольшой участок Черноморского побережья) было безвозвратно потеряно около 42 га плодородной пахотной земли.

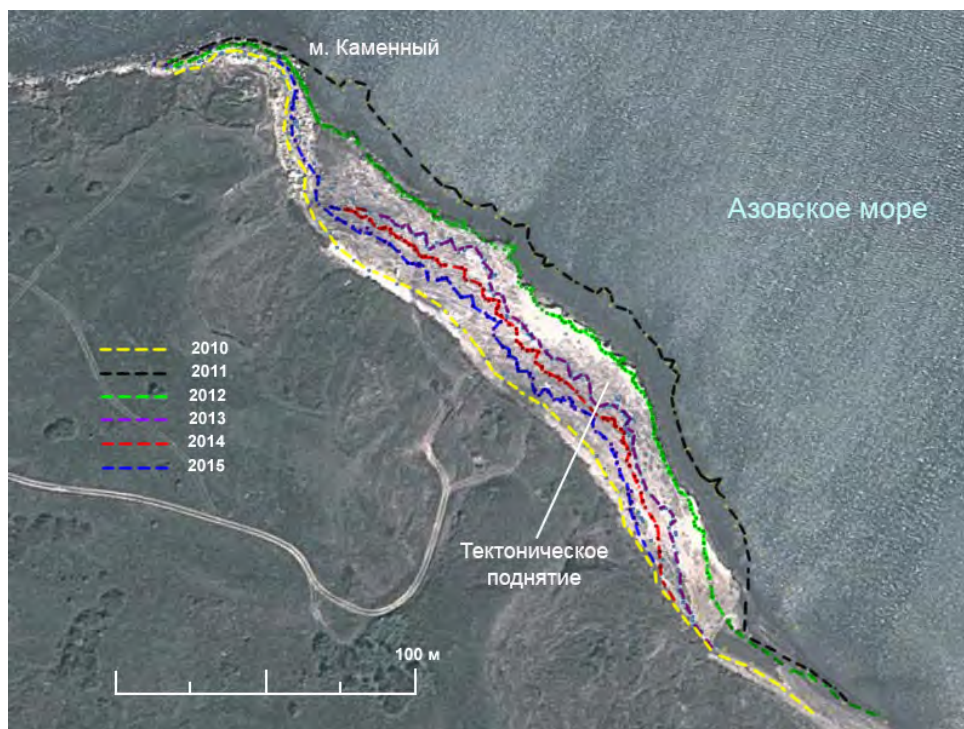


Рис. 1. Абразионное сокращение обнажившегося участка морского дна на участке тектонического поднятия у м. Каменный Темрюкского района за 2011 - 2015 гг.

Оценка точности вычисления площади отступления берегового клифа производилась с использованием методов фрактальной геометрии (Мандельброт, 2002). Береговая линия представлялась фрактальной кривой Коха с фрактальной размерностью  $D=1.2618$ . Погрешность вычисления площади при изменении шага измерения в два раза по сравнению с предыдущим годом составляет 15 % (Глазырин и др., 2015).

Сравнение технологии GPS и других методов мониторинга береговых процессов по данным зарубежных исследований показывает необходимость дальнейшего совершенствования методики мониторинга береговых процессов. Опыт аналогичных работ по мониторингу процессов абразии береговой зоны Англии свидетельствует, что оптимальным решением этой проблемы является комплексное применение методов цифровой аэрофотосъемки, GPS-измерений и дистанционного зондирования Земли (Buckley, 2002).

Работа выполнена в рамках Государственного мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовых зон Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов Российской Федерации (договор субподряда №2/2015 (ГК 01/20/60-2) от 26.05.2015)).

### **Список литературы**

Глазырин Е.А., Марфин А.А., Шестопалов В.Л. и др. 2013. Инновационные технологии мониторинга геодинамического состояния прибрежно-шельфовой зоны морей // Геология морей и океанов: Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т IV. М.: ГЕОС, С. 213-216.

Глазырин Е.А., Марфин А.А., Клубнева О.В. В и др. Опыт мониторинга береговых процессов Азово-Черноморского побережья Российской Федерации. SCIENCE, TECHNOLOGY AND LIFE – 2015: Proceedings of materials the international scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow, 24-25 December 2015. [Electronic resource]

Матишов ГГ., Артюхин Ю.В. 2010. Проблемы изучения берегов морей и задачи научного обеспечения их освоения (к 100-летию профессора В.П. Зенковича) // Вестник ЮНЦ РАН, Том 6, № 2, С. 21-27.

Мандельброт Б. 2002. Фрактальная геометрия природы // М.: Институт компьютерных исследований. 656 с.

Попков В.И., Глазырин Е.А., Фоменко В.А. и др. 2013. Катастрофическое тектоническое событие лета 2011 г. на Таманском полуострове // Доклады Академии Наук, том. 448, № 6. С. 680-683.

Buckley S.J., Mills J.P., Clarke P.J. end others. 2002. Synergy of GPS, photogrammetry and InSar for coastal zone monitoring // Seventh International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. Miami, Florida, 20-22 May, pp. 1-10.

## **Географо-экологические основы рационального морского природопользования.**

Фашук Дмитрий Яковлевич

*Институт географии РАН (ИГРАН), Москва.*

Наука строится из фактов, как дом из кирпичей,  
но простое собрание фактов столь же мало  
является наукой, как куча камней – домом.

*Анри Пуанкаре (1854-1912)*

«География – совсем не наука об отдельных фактах окружающего нас мира. География – наука о связях, о глубочайших соотношениях, которые существуют в природе между отдельными явлениями и трудящимся в ней человеком»

*академик А. Е. Ферсман (1883-1945)*

Только за 1970-1990 гг. в нашей стране и за рубежом были опубликованы десятки решений и постановлений по вопросу экологии и охраны морской среды. Все они призывали “сконцентрировать”, “усилить”, “объединить”. В национальных и международных программах морских исследований неизменно присутствовали фразы “комплексный, системный подход”, “экологический мониторинг”. Их результат нам всем хорошо известен - решения многих морских экологических проблем и сейчас все еще затягиваются на долгие годы, нередко оставаясь при этом на уровне гипотез...

Одним из подтверждений сказанного может служить тот факт, что, например, для объяснения причин развития с первой половины 1970-х гг. на северо-западном шельфе Черного моря заморных явлений (массовой гибели донных гидробионтов) потребовалось около 10 лет [Фашук, 1995]. Такое же время заняло доказательство нереальности выхода на поверхность и возгорания сероводорода в открытой части Черного моря - отсутствия необходимости “спасения” населения причерноморских стран и самого моря от «катастрофы» посредством строительства в Новороссийске гигантского энергетического комплекса по добыче из глубин и переработке этого газа [Айзатулин и др., 1990].

### **«Эффективность» современной системы мониторинга**

В конце XX - начале XXI вв. в практике морского природопользования прочно утвердилась система мониторинга на которую исследователи возлагали большие надежды. Ее реализация при проведении на морской акватории того или иного вида работ (особенно, связанных с разведкой и добычей минеральных ресурсов, развитием марикультуры и др.), действительно, позволила собрать огромные массивы информации, характеризующей условия среды и их изменения в соответствующих районах моря. Тем не менее, результаты проводимого контроля только в редких случаях подвергаются комплексному анализу для конструктивных практических и прогностических выводов.

Такое положение дел определяется не только огромным объемом наблюдений, выполняемых во время мониторинга, и, соответственно, объективным недостатком времени у исследователей для их анализа. В большинстве случаев его причиной оказывается также отсутствие методологических принципов оперативной систематизации получаемой информации, а также соответствующей квалификации у исполнителей. Сегодня мониторинг осуществляют высококвалифицированные инженеры-наблюдатели, которые прекрасно



владеют методами формального математического и компьютерного анализа, методиками физических, химических, биологических и других видов аналитических определений, но, к сожалению, не склонных к творческому абстрактному мышлению и системному обобщению материалов. Естественно, что при таком подходе главное в работе – методически корректно выполнить наблюдения, формально описать их результаты, вовремя сдать отчет, оправдать смету затрат и грамотно составить заявку на расходы следующего года, а не выяснить, например, причину гибели рыбы или аномального состояния условий морской среды.

В итоге, собранные бесценные гидроэкологические сведения остаются лежать «мертвым грузом» в архивах и фондах нефтедобывающих или иных компаний. Они дают возможность ответить на вопросы каким и когда море бывает, сколько и чего содержит его воды, кто и в каком количестве в них обитает, в лучшем случае – оценить временные и пространственные тенденции в изменении компонент морской экосистемы. Но эти данные, к сожалению, не позволяют узнать: *почему море именно такое, по какой причине в нем происходят те или иные изменения, что может произойти с ним при смене внешних воздействий?* В итоге промышленники, формально выполнив требования очередной директивы или постановления в области рационализации природопользования, продолжают слепо уничтожать природу на пути к "будущему процветанию".

Автор глубоко убежден в том, что понять и спрогнозировать жизнь морского водоема по приказу невозможно. Для этого нужен не только грамотный исполнитель-наблюдатель, но и ученый-аналитик, способный оценить и применить достижения различных областей морской науки для решения системы «интегральных уравнений» какими являются современные морские экологические проблемы, для анализа информации, прогностических оценок и конструктивных практических выводов. Он должен обладать универсальным *междисциплинарным* стилем мышления и научной интуицией, а воспитание ученых-экологов, способных комплексно творчески мыслить, сомневаться и чувствовать природу, в нашей стране, не говоря уже о других странах, происходит очень медленно. Никакими директивами и постановлениями этот дефицит заполнить невозможно...

### **«Эффективность» экологических прогнозов и моделей морских экосистем.**

Стремительное изменение условий среды в наиболее продуктивной прибрежной зоне морей и океанов под влиянием климатических и антропогенных факторов ставит исследователей и хозяйственных руководителей в обстоятельства, при которых оправдываемость оперативных и перспективных прогнозов, разработанных с учетом ранее выясненных экологических связей, резко снижается.

Кроме того, в настоящее время в результате активного развития средств вычислительной техники и аппарата прикладной математики наряду с полевыми наблюдениями в море, математические модели стали частью фундамента научного понимания природы океана, важнейшим элементом при решении конкретных экологических задач. Сегодня в мире их разработаны сотни видов и типов. Тем не менее, несмотря на успехи моделирования (в плане количества разработанных моделей), качество морских экологических прогнозов, разработанных на основе модельных расчетов, сегодня, мягко говоря, оставляет желать лучшего. Некоторые из отечественных моделей, отмеченные даже Государственной премией в период бума моделирования в 1970-е гг., давно преданы забвению, так как на практике оказались всего лишь инструментом для упражнений в расчетах, имеющих мало общего с реальной природой [Фащук и др., 2005].

Качество заложенной в математическую модель информации, определяется пониманием природы объекта моделирования, а именно аппарат географической науки оказывается сегодня инструментом для такого понимания! В этой связи, поиск и верное понимание механизмов формирования причинно-следственных связей в морских экосистемах физиками, химиками, биологами, математиками-программистами, занимающимися сегодня их моделированием без участия географов, малоэффективны – дают неадекватные результаты, непригодные и даже опасные для применения в практических целях. «Вдохнуть жизнь» в уравнения и формулы экологических моделей предопределено судьбой именно специалистам географам-океанологам.

### **Концепция географо-экологического подхода к исследованию БМЗ и КУПЗ.**

Выход из сложившейся ситуации был найден в рамках географо-экологического подхода, позволяющего рассмотреть морской водоем со всех (физической, химической, биологической и др.) сторон, понять его природу, используя оптимум информации. У его истоков стоял академик К.К. Марков и его последователи: В.Л. Лебедев, Т.А. Айзатулин, К.М. Хайлов [Физическая география, 1980].

В конце 1990-х гг. в Институте географии РАН, предложенная К.К. Марковым концепция получила дальнейшее развитие. Была разработана методология комплексного представления морского водоема *с помощью средств географической науки* [Фащук, 1997].

Теоретическую основу предлагаемого подхода составляет заключение о том, что, в отличие от существующих традиционных приемов систематизации морской экологической информации, ее современный анализ может строиться на базе информационной модели, представляющей *комплекс экологически значимых результатов («изюминок») изучения геосистемы “море-водосбор” различными областями естествознания и народно-хозяйственной науки* [Fashchuk, 2011].

В соответствии с принципами системного подхода в морских географо-экологических информационных моделях выделяются основные природные и антропогенные процессы, определяющие состояние экосистем, анализируются существующие здесь причинно-следственные связи, характер их пространственно-временной изменчивости. В этих информационных системах, как и в физических, по выражению известного немецкого физика-теоретика Макса Борна (1882-1970), *“наблюдаемая картина теряет в богатстве оттенков, но зато выигрывает в ясности”*. Именно они могут служить информационной базой для математического моделирования морских экосистем.

Логическая схема географо-экологической модели морского водоема включает ряд операций: отбор, ”сворачивание”, анализ и наглядное представление информации, ранжировка процессов по экологической значимости, выявление и картографирование неблагоприятных для жизни моря последствий. Для этого разработаны алгоритмы экологических показателей и методы морского экологического картографирования с помощью которых многочисленные цифровые и картографические материалы представляются в виде аналитических таблиц и диаграмм, морских диагностических экологических карт и генеральных карт-схем.

Получаемая в результате информационная модель морского водоема включает не только его экологически значимые режимные характеристики, но и систему карт и аналитических таблиц, отражающих все основные аспекты его жизни: природные (внешние и внутримассовые) и антропогенные факторы воздействия на морскую экосистему и

территорию водосбора, состояние условий морской среды и популяций гидробионтов, а также тенденции и перспективы развития основных абиотических и биотических элементов экосистемы.

Учитывая тот факт, что интегральным показателем «здоровья» моря является состояние гидробионтов, географо-экологическое моделирование начинается с анализа биологических данных. Для ответа на вопросы: почему происходит сокращение популяций морских организмов или как отразится на их состоянии изменение условий среды, необходимо знать роль различных районов моря в формировании численности морских обитателей. Это связано с установлением здесь зон их массового скопления - *центров концентрации жизни*, на разных стадиях развития. В экологическом плане такой анализ интерпретируется как выделение на акватории моря районов высокой «уязвимости» организмов и объектов их питания к внешним воздействиям. В модель также включаются карты типичного распределения и путей миграций донных промысловых организмов, сведения об условиях среды, оптимальных для гидробионтов, их толерантности к токсичным загрязняющим веществам и признаках интоксикации.

Генеральная карта-схема основных природных факторов наглядно представляет и содержит описание процессов, определяющих формирование условий среды и жизнедеятельность обитателей моря. Она позволяет оперативно предсказать: что и когда можно ожидать от природы в том или ином районе моря.

Генеральная географо-экологическая карта-схема антропогенных факторов и их последствий для морской экосистемы включает анализ и описание соответствующих процессов и явлений, позволяющий оперативно оценить экологическую ситуацию, сложившуюся в море, но уже по вине человека.

Комплексный анализ карт, диаграмм, таблиц географо-экологической модели морского водоема позволяет исследователю оперативно оценить возможные причины кризисных ситуаций, или сузить зону их поиска; разработать научно обоснованные природоохранные мероприятия; определить возможные последствия для морских организмов катастрофического воздействия на морскую экосистему (залповый сброс загрязняющих веществ с речным стоком или со стоками предприятий побережья, при авариях танкеров или нефтепроводов); сориентировать специалистов для принятия оптимальных безопасных решений при освоении морских ресурсов.

### **Список литературы**

1. Фащук Д.Я. Сероводородная зона северо-западного шельфа Черного моря: природа, причины возникновения, механизмы динамики. //Водные ресурсы, т.22, №5, 1995, с. 568-585.
2. Айзатулин Т.А., Фащук Д.Я. Леонов А.В. Сероводородные зоны Черного моря: экологические и социальные катастрофы. //Журнал Всес. химического общества им. Д.И.Менделеева, Том XXXV, №4, 1990, с. 497-508.
3. Фащук Д.Я., Чичерина О.В., Леонов А.В. Геоэкологические аспекты моделирования состояния морских водоемов. //Изв. РАН. Сер. геогр. № 2.2005, с. 26-37.
4. Фащук Д.Я. Географо-экологическая модель морского водоема - 1997. Диссертация. д. г. н. М. ИГ РАН, с.324 .
5. Fashchuk D.Ya. Marine Ecological Geography. Theory and Experience. Environmental Science and Engineering. 2011. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 433 p.
6. Физическая география Мирового океана (Серия: «География Мирового океана»). Л., «Наука», 1980. 362.

## **Морские школьные практики в Утришском заповеднике (Краснодарский край).**

**Смирнов Иван Алексеевич<sup>1</sup>, Симакова Ульяна Вадимовна<sup>2</sup>,**

**Матанова Анна Максимовна<sup>1</sup>, Бабич Глеб Олегович<sup>1</sup>,**

**Рокова Александра Ивановна<sup>1</sup>, Мироненко Ярослав Владимирович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ГБОУ Школа №171 (Москва); <sup>2</sup> Институт Океанологии РАН им П.П. Ширшова

Черноморское побережье всегда являлось важным регионом в развитии нашей страны. Благодаря своему экономико-географическому положению, побережье Черного моря стало основной отечественной рекреационной зоной [1 – 3]. Каждый год сюда приезжает множество отдыхающих в различные оздоровительные комплексы, для занятия туризмом и просто для отдыха. Побережье активно используется не только в рекреации, но и в иных сферах деятельности: военные и морские порты, строительство топливных трубопроводов для поддержания экономических отношений с другими странами и т. д.

Всё это обуславливает сильнейшее воздействие антропогенного характера на прибрежные экосистемы в целом и в частности на макрофитобентос. Водоросли являются основными продуцентами в морях. Благодаря фотосинтезу и высокой скорости размножения водоросли образуют большую массу органических веществ, которую потребляют другие организмы. Альгологические исследования прибрежной зоны дают возможность лучше понять тенденции развития прибрежных экосистем, и обнаружить экологические факторы, влияющие на произрастание основных продуцентов и их эпифитов [4 – 8].

Исследование макрофитобентоса в акватории Утришского заповедника (Краснодарский край) проводилось летом и осенью 2015 – 2016 гг. В рамках молодежной программы «Марибус» в летний период прошло 2 морские практики на Малом (в 2015 г.) и Большом Утрише (2016 г.). В экспедициях приняли участие обучающиеся 9 – 10-х профильных биологических классов ГБОУ Школа №171 (Москва) и гимназисты 5-х и 10-х классов АНОО «Гимназия свт. Василия Великого». В экспедиции школьники под руководством научных сотрудников географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова (руководитель экспедиции – к. г. н. В. Г. Папунов) и Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН изучали видовой состав водорослей акватории заповедника, связи между прибрежными и морскими ландшафтами, исследование рекреационной нагрузки заповедника.

Программа практики включала обучение подводным методам исследований, практические занятия по погружениям с аквалангом и обучению управлению моторной лодкой, ведение полевых дневников, методику описания природных сообществ, наземные экскурсии по флоре заповедника, образовательные выезды в Новороссийск и Анапу и выполнение школьных исследовательских работ.

Направлениями исследований школьных экспедиций стали:

1. Оценка экологического состояния прибрежных экосистем в акватории Утришского заповедника методом биоиндикации по макрофитобентосу;
2. Сравнение экологических особенностей различных видов рода *Cystoseira*;
3. Исследование распространения *Codium* spp. в Черном море в районе Большого и Малого Утриша.

Для отбора проб по темам работ было заложено 7 трансект (4 в 2015 г. и 3 в 2016 г.) длиной 200 м. В местах, выбранных для трансект, Центром Морских Исследований МГУ им. М. В. Ломоносова была проведена сонарная съемка. На каждой трансекте случайным образом было выбрано 6 участков площадью 0.1 м<sup>2</sup>, расположенных на глубинах 3 – 12 м (на

каждой из глубин закладывалось 3 площадки). Отбор проб проводился с использованием первого и второго водолазных комплектов.

Каждая отобранная проба была разобрана: все водоросли были очищены от эпифитов, все виды макроводорослей, видимые без бинокля были определены (в том числе и эпифиты). Кроме того, были взяты отдельные пробы каждого найденного вида для гербаризации, либо подготовки спиртовых образцов в 96% растворе спирта. Основную массу растений высушили в течение 24 часов в сушильном шкафу при температуре 80°C, и взвесили на весах с точностью измерения до 0.001 г.

Всего определено 34 вида макроводорослей: 17 красных водорослей (*Laurencia obtusa*; *Osmundea pinnatifida*; *Chondria capillaris*; *Rhodochorton purpureum*; *Nitophyllum punctatum*; *Polysiphonia subulifera*; *Ceramium arborescens*; *Gelidium spinosum*; *Laurencia coronopus*; *Phyllophora crispa*; *Polysiphonia fucoides*; *Apoglossum ruscifolium*; *Callithamnion granulatum*; *Jania rubens*; *Jania virgata*; *Chondria dasyphylla*), 6 зеленых водорослей (*Cladophoropsis membranaceae*; *Ulva intestinales*; *Ulva flexuosa*; *Cladophora spp.*; *Chaetomorpha aerea*; *Codium vermilara*), 11 бурых водорослей (*Corynophlaea umbellata*; *Dictyota sp.*; *Cystoseira crinita*; *Cystoseira barbata*; *Cladostephus spongiosus*; *Sphacelaria cirrosa*; *Stilophora tenella*; *Padina sp.*; *Zanardinia typus*; *Ectocarpus sp.*; *Dictyota fasciola*).

Фоновыми видами являлись представители рода *Cystoseira* (*Cystoseira barbata* и *Cystoseira crinita*), причем биомасса вида *Cystoseira barbata* значительно выше.

Фитоценозы водорослей-макрофитов всех обследованных профилей весьма сходны по видовому составу, преобладает 2 фитоценоза: Фитоценоз *Cystoseira crinita* + *Cystoseira barbata* – *Cladostephus spongiosus* и *Codium vermilara*. Цистозировый фитоценоз формирует основной аспект донной растительности в северо-восточном гидробиологическом районе и приурочен к глубинам от 0,5 до 16 м. Встречен на всех профилях на глубинах до 16 м, на расстоянии до 300 м от береговой линии на твердых грунтах.

Максимальные средние биомассы макрофитов на обследованных площадках отмечены на глубине около 5 м (до 2980 г/м<sup>2</sup>), на больших глубинах (начиная с 7,5 м) отмечено снижение средней биомассы. Из представителей рода *Codium* обнаружен лишь вид *Codium vermilara*.

В следующем году планируется продолжение исследований по указанным направлениям, закладка дополнительных трансект в центральной части акватории Утришского заповедника.

Исследования проведены на территории и при поддержке ФГБУ Государственный заповедник «Утриш». Финансовая поддержка обеспечена грантом Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 15-04- 01870.

### Список литературы

1. Петров К. М. Подводная растительность черноморского побережья Северного Кавказа и Таманского полуострова. II // Там же. – 1961а. – № 12. Сер. геол. и геогр. Вып. 2. – С. 116-134.
2. Петров К. М. Подводная растительность черноморского побережья Северного Кавказа и Таманского полуострова. III. Характеристика фитоценозов, обитающих в нижней сублиторали на каменистом грунте. Характеристика фитоценозов, обитающих на песчано-илистом и ракушечном грунтах // Там же. – 1961б. – № 24. Сер. геол. и геогр. Вып. 2. – С. 90-98.
3. Митяева Н. А., Максимова О. В., Георгиев А. А. Флора макроводорослей северной части российского побережья Черного моря // Экол. моря. – 2003. – Вып. 64. – С. 24 - 28. 347

4. Калугина-Гутник А. А. Влияние загрязнения воды на структуру донных фитоценозов Черного моря // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. – М., 1975. – С. 103-107.
5. Калугина-Гутник А. А. Макрофитобентос Черного моря: Автореф. дис.... д-ра биол. наук: 03.00.05. – Севастополь, 1974. – 48 с. – В надзаг.: АН СССР. Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова.
6. Minicheva G. G., Maximova O.V., Morushkova N.A. et al. State of the environment of the Black Sea (2001-2006/7). — Istanbul, 2008. — 448 p.
7. Калугина-Гутник А. А. Сырьевые запасы и продукция макрофитов Черного моря и перспективы их дальнейшего исследования // Всесоюз. совещ. по морской альгологии – макрофитобентосу. – М., 1974. – С. 62-66.
8. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. – К.: Наук. думка, 1975. – 247 с. – В надзаг.: АН УССР. ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского.

**Особенности функционирования мидий *Mytilis galloprovincialis* в агрегациях: данные наблюдений и моделирование.**

Васечкина Елена Федоровна, Казанкова Ирина Ивановна

*ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, ФГБУН Институт природно-технических систем РАН, Севастополь*

Ранее авторами была разработана имитационная объектно-ориентированная модель интегрированной политрофической марикультуры «мидии – макрофиты» [1, 4], служащая составной частью информационной технологии управления морским хозяйством в прибрежной зоне Крыма. Были проведены специальные натурные исследования по верификации «мидийного» блока [2]. Рост мидии на коллекторах моделировался с использованием уравнений энергетического баланса [3]:

$$\frac{dB_m}{dt} = \frac{dW_d}{dt} N_m - \mu_m B_m - E_m, \quad \frac{dW_d}{dt} = FCA_e - R - Ex,$$

где  $B_m$  – биомасса и  $N_m$  – численность идентичных мидий в объекте;  $W_d$  – сухой вес мягких тканей особи,  $F = f(T, W_d) \cdot f(C)$  – скорость фильтрации, зависящая от веса особи ( $W_d$ ), концентрации взвеси ( $C$ ) и температуры среды ( $T$ ),  $A_e$  – коэффициент ассимиляции, зависящий от веса особи,  $R = aW_d^b$  – затраты на метаболизм,  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от температуры среды,  $Ex$  – выделение мидиями органических и неорганических веществ,  $\mu_m$  – коэффициент смертности, зависящий от концентрации кислорода и возраста особи,  $E_m$  – выедание биомассы объекта хищниками.

Все переменные в уравнениях модели приведены к энергетическим единицам. В модель включено описание процесса нереста мидий: условия начала, продолжительность, энергетические потери, интенсификация выделений веществ в окружающую среду.

Параметризации, заложенные в модель, получены по данным лабораторных экспериментов, где не учитывалось взаимовлияние моллюсков в агрегациях на интенсивность физиологических процессов. В результате возможны существенные ошибки при расчетах продукционной и экологической приемной емкости акватории, отведенной под размещение марикультуры. Для уточнения модели в целях минимизации подобных ошибок проводились натурные и лабораторные эксперименты, в которых исследовали влияние агрегированности на функционирование мидий. Параллельно изучалась индивидуальная изменчивость скорости роста, фильтрации моллюсков, расположенных в агрегациях и в относительно изолированном состоянии.

**Влияние агрегированности на функционирование мидий**

В экспериментах, проведенных в Севастопольской бухте в 2015 г., изучалась скорость линейного и весового роста мидий в агрегациях в сравнении с мидиями, расположенными изолированно. Сформированные с помощью сетчатых мешочков агрегации (друзы) содержали по 20 особей. Таких друз было семь. Они были шарообразной формы и омывались со всех сторон водой, так как находились в подвешенном состоянии. При этом мидии в друзах располагались в один слой, что исключало рефильтрацию. Еще две группы использовались для оценки средней скорости роста моллюсков, выращиваемых



изолированно друг от друга. В результате трех экспозиций, каждая из которых была продолжительностью около месяца, не было выявлено превалирования в скорости роста одиночных мидий над моллюсками в друзах. Этот фактор в сравнении с влиянием температуры и концентрации пищевой взвеси не является значимым (рис. 1).

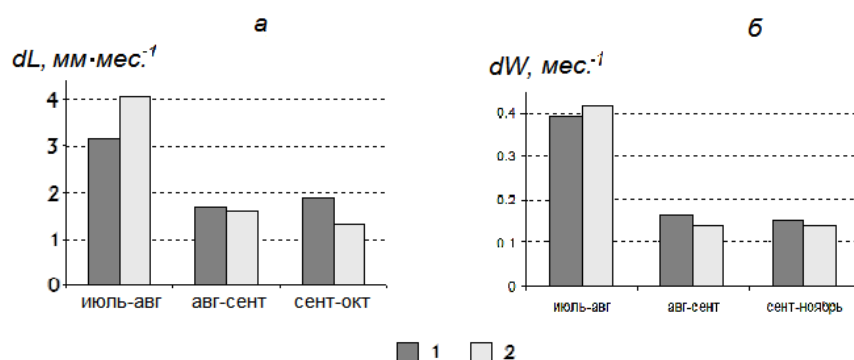


Рис. 1. Средние скорости линейного роста мидий – *a* и средние удельные скорости весового роста – *b* за весь период эксперимента (скорости роста одиночных мидий – 1 и в друзах – 2).

Однако скученность влияет на скорость фильтрации мидии. Эту характеристику определяли по скорости осветления моллюсками объема воды, содержащей кормовую взвесь. В качестве таковой использовалась культура микроводоросли *Tetraselmis viridis*. Оптическую плотность при длине волны 750 нм использовали как косвенный показатель биомассы водорослей. Измерения проводили с помощью фотоэлектроколориметра КФК-3. Из природных популяций были отобраны 5 групп близких по размерам мидий: 12-16 мм (12 экз.), 17-18 мм (15 экз.), 18-25 мм (24 экз.), 22-23 мм (15 экз.) и 35-38 мм (10 экз.). Для каждой из групп в двух повторностях проводились эксперименты по определению скоростей фильтрации мидий в одиночном состоянии и в друзах. Исследуемые мидии помещались по одной в сосуды одинакового объема с морской водой, содержащей кормовую взвесь, на один час. По изменению оптической плотности рассчитывалась скорость осветления объема воды для каждого моллюска. Из этих мидий формировалась друза, которую через сутки помещали в сосуд с кормовой взвесью той же оптической плотности и объемом воды, большим, чем в экспериментах с одиночными особями, пропорционально количеству мидий в друзе.

Отношение скорости фильтрации мидий в агрегации к средней скорости одиночных моллюсков для всех групп оказалось меньше единицы и имело разброс значений от 0.48 до 0.85. Зависимости данного соотношения от размеров моллюсков в группе не выявлено. Вариации этой величины, по всей видимости, обусловлены влиянием температуры воды, концентрации пищевой взвеси и высокой индивидуальной изменчивостью физиологических характеристик мидий.

#### **Исследование индивидуальной изменчивости физиологических характеристик мидий.**

В ходе натуральных экспериментов в 2008 и 2013 гг. исследовали индивидуальную изменчивость скорости линейного и весового роста сеголетков мидии (длиной 10 – 20 мм), помещенных в садки, где моллюски в количестве 20 экз. располагались относительно свободно. Садки экспонировали на горизонте 3 м у берегов южного и юго-западного Крыма (б. Ласпи, Голубой залив, Севастопольская бухта), ежемесячно производились замеры длины

и веса моллюсков. В лабораторных экспериментах исследовали индивидуальную изменчивость скорости фильтрации сеголетков мидий.

Анализ полученных данных показал зависимость индивидуальной изменчивости физиологических характеристик мидии от условий существования (рис. 2). При ухудшении условий коэффициент вариации может резко возрастать до 100 – 120%, при возвращении благоприятных условий экспериментальная выборка снова становится статистически однородной по скорости фильтрации.

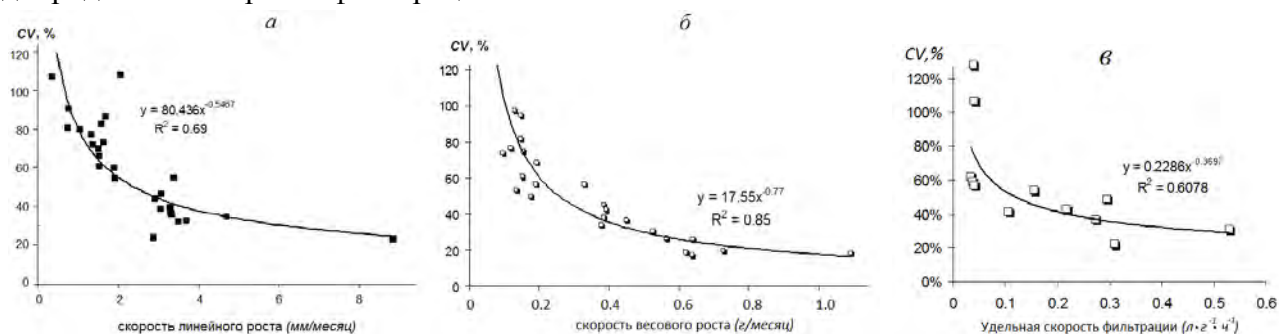


Рис. 2. Коэффициент вариации скоростей линейного (а) и весового роста (б), скорости фильтрации (в) как функция среднего.

Выявленные особенности необходимо учитывать при моделировании роста мидий на коллекторах мидийной плантации, поскольку они оказывают значимое влияние на оценки потоков энергии и вещества в экосистеме. По результатам данного исследования в модель [1, 4] введены следующие модификации.

1. Для имитации индивидуальной изменчивости моллюсков в модели коэффициенты в параметризациях, применяемых для расчета скоростей фильтрации, метаболизма, ассимиляции, генеративной части продукционной энергии, а также начальные морфологические параметры моллюсков задаются как случайные числа с известной дисперсией.

2. Величина дисперсии подбирается таким образом, чтобы вариация измеряемых величин, рассчитанных в ходе интегрирования модели, таких как скорости фильтрации и дыхания, а также длина и вес моллюсков, не выходила за наблюдаемые пределы изменчивости соответствующих параметров. Согласно предварительным расчетам, задание среднеквадратического отклонения коэффициентов в 5% приводит к снижению средней скорости роста мидий на 15% и увеличению среднеквадратического отклонения веса и длины до 20%.

3. Поскольку индивидуальная изменчивость скоростей протекания физиологических процессов у мидий может быть очень высокой и испытывает значительные колебания в зависимости от условий существования, нет смысла оценивать степень угнетения физиологических процессов в агрегации в виде функциональной зависимости от плотности скопления. Например, на основании проведенных экспериментов мы не можем с достаточной долей вероятности утверждать, что скорость фильтрации в агрегации замедляется на 15 либо 50 % по сравнению с измеренными скоростями для одиночных мидий. Поэтому предлагается учитывать этот фактор в модели алгоритмическим способом. Суть его в следующем. В модели имитируется расположение отдельных коллекторов мидийной плантации относительно вычислительной сетки, на которой рассчитываются концентрации гидробиологических и гидрохимических полей. На каждом таком коллекторе может находиться несколько объектов, имитирующих совокупности моллюсков с идентичными характеристиками. Эти объекты на каждом временном шаге обрабатываются программой в одной и той же последовательности. Каждому из объектов присваивается номер, и обработка происходит в одной и той же последовательности от 1 до  $N$ . Номера

объектов увеличиваются в направлении распространения течения через плантацию. Обработка заключается в считывании текущего состояния объекта и расчете нового состояния в зависимости от концентрации доступных пищевых ресурсов и температуры окружающих вод. При этом также оценивается влияние объекта на окружающую среду, заключающееся в изъятии части пищевых ресурсов и выделении в воду продуктов метаболизма. Биомасса фитопланктона и концентрации детрита – основных пищевых ресурсов мидий – для конкретного  $k$ -го «мидийного объекта» зависят от его расположения в пределах плантации, скорости и направления течения, концентрации ресурса на периферии плантации (на входе течения на акваторию плантации), а также количестве изъятых ресурсов предыдущими объектами (1, ...,  $k-1$ ). Чем меньше номер объекта, тем больше ресурсов оказывается доступными для него. Таким образом описывается в модели истощение пищевых ресурсов на мидийной плантации, наблюдаемое в реальности. Тот же эффект достигается в пределах одного коллектора. Чем меньше номер объекта на данном коллекторе, тем больше ресурсов доступно ему для потребления. Механистически влияние агрегированности можно интерпретировать таким образом, что объекты с меньшими номерами находятся на периферии скопления мидий на коллекторе и соответственно им доступно больше ресурсов по сравнению с мидиями в центре агрегации.

Следующим этапом нашего исследования будет выполнение численных экспериментов с варьированием скорости течения, концентрации фитопланктона, плотности размещения моллюсков на имитационных коллекторах с тем, чтобы оценить какими должны быть конструктивные параметры модели для лучшего соответствия результатов моделирования имеющимся данным наблюдений.

#### Список литературы

1. Васечкина Е.Ф. Имитационное моделирование интегрированной политрофической марикультуры // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU – 2015)». Москва, МГУ, 19-24 октября 2015 г. – С. 463 – 466.
2. Васечкина Е.Ф., Казанкова И.И., Щуров С.В. Верификация математической модели роста культивируемой мидии *Mytilus galloprovincialis* на основе натуральных данных // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: «ЭКОСИ – Гидрофизика». – 2014. – С. 462 – 467.
3. Васечкина Е.Ф., Казанкова И.И. Математическое моделирование роста и развития мидии *Mytilus galloprovincialis* на искусственном субстрате // Океанология. – 2014. – т. 54, № 6. – С. 1 – 9.
4. Васечкина Е.Ф. Объектно-ориентированный подход к моделированию интегрированной политрофической аквакультуры «мидии – макрофиты» // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона: материалы VII Международной конференции. Керчь, 20-23 июня 2012 г. – Керчь: ЮгНИРО, 2012. – Т. 2. – С. 83 – 89.

## **СЕКЦИЯ: ГИДРОЛОГИЯ**

## Гидрологические исследования приливных устьев малых рек Белого моря.

Алабян Андрей Михайлович<sup>1</sup>, Алексеева Анна Артемовна<sup>1</sup>,

Демиденко Николай Александрович<sup>2</sup>, Крыленко Инна Николаевна<sup>1</sup>,

Лебедева Серафима Витальевна<sup>1,2</sup>, Льюменс Макс<sup>1</sup>,

Панченко Евгения Дмитриевна<sup>1</sup>, Попрядухин Артем Александрович<sup>1</sup>,

Фингерт Евгения Александровна<sup>1</sup>, Фролова Наталья Леонидовна<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова*, <sup>2</sup> *ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова»*, г. Москва, [andrei\\_alabyan@mail.ru](mailto:andrei_alabyan@mail.ru)

Приливное устье реки – это один из самых сложных для исследования гидрологических объектов. При разных сочетаниях речных и морских гидрологических факторов формируется каждый раз новый особый режим течений внутри устьевой области реки. Большое значение также имеют морфометрические характеристики устьевых участков реки, и взморья, характер донных отложений и геоморфологический тип морского берега. Объекты данного исследования - это устья малых рек Сёмжи, Кянда и Тамицы, имеющие ряд общих и ряд отличающихся параметров (рисунок 1). Все три реки – это малые реки, впадающие в Белое море. Они имеют близкие размеры водосборов и величины меженного стока. Устья всех этих рек подвержены полусуточным приливным колебаниям уровня моря величиной 2 м и более.

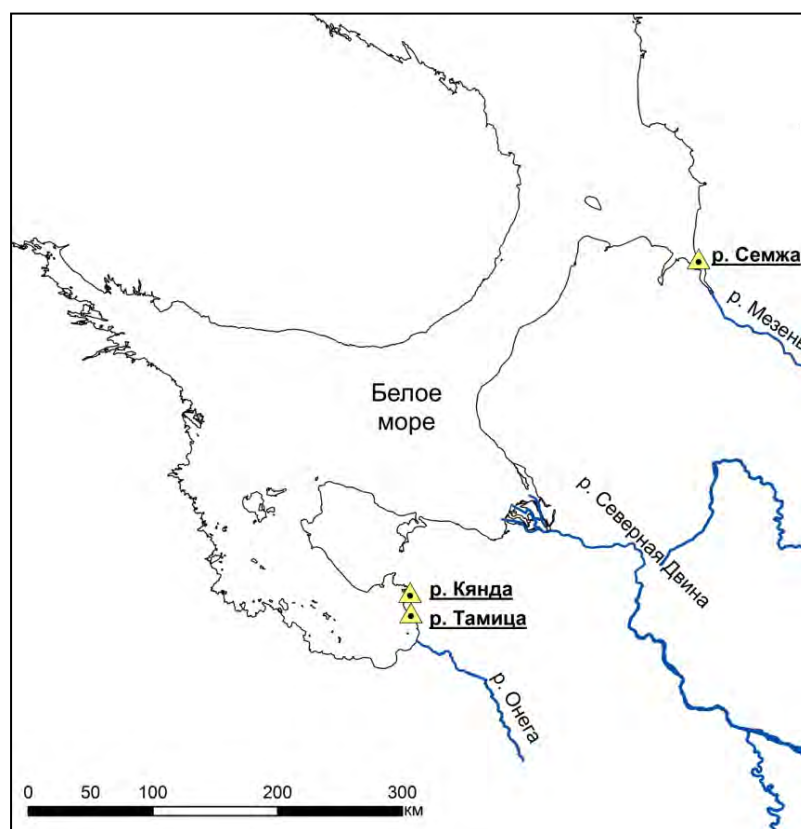


Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования.

В устьевых областях выбранных рек были организованы полевые экспедиционные исследования. Цель работы – изучение процессов распространения приливной и нагонных волн вверх по руслу реки, для чего проводились наблюдения за изменением уровней воды, уклонов, скоростей течения, расходов воды и проникновением соленых вод в течение

приливного цикла. Уровень воды наблюдался в течение одного или нескольких приливных циклов на всем протяжении устьевых участков рек с помощью цифровых самописцев - логгеров фирм Keller и Solinst. Уровни воды привязаны к единой системе высот с помощью комплексов дифференциальных систем спутникового позиционирования (DGPS). Расходы воды измерялись с помощью акустик-доплеровских измерителей течений (ADCP) в нескольких створах на устьевом участке каждой реки также в течение полного приливного цикла. Была разработана и опробована на всех этих устьях методика слежения за проникновением клина соленых вод с помощью кондуктометра. В результате определена дальность и характер проникновения соленых вод в устье этих рек. Также проводились рейдовые наблюдения за соленостью, температурой воды, скоростью течения воды в отдельных точках (в устьевом створе и в верхней части устьевого участка) в течение всего приливного цикла. На каждом из участков выполнены детальные промеры дна.

Натурные наблюдения на реке Сёмже, впадающей в эстуарий Мезени вблизи ее устьевого створа, были проведены частью коллектива авторов в августе 2015 года. Приливы в Мезенском заливе составляют порядка пяти метров, но при движении вверх по эстуарию Мезени приливная волна трансформируется, и величина прилива достигает девяти метров в районе впадения реки Сёмжи. Таким образом, исследования на Сёмже дают возможность изучать взаимодействие речных и морских вод в гиперприливных условиях. Длина Сёмжи составляет 63 км, площадь бассейна – 490 км<sup>2</sup>. Средний меженный сток реки равен порядка 5 м<sup>3</sup>/с. Ширина русла существенно изменяется во время приливного цикла. В устьевом створе реки в полную воду ширина русла составляет 90 м, в фазу отлива уменьшается до 30 м. При удалении от устьевого створа влияние прилива на ширину русла постепенно уменьшается, в 21 км выше ширина русла составляет около 10-15 м независимо от фазы приливного цикла.

В ходе полевых работ была определена дальность проникновения приливных колебаний уровня воды: она составила 21 км. Были измерены расходы воды в устьевом створе, достигавшие за приливный цикл значений от -270 м<sup>3</sup>/с до 180 м<sup>3</sup>/с, что в десятки раз превосходит наблюдаемый в тот период собственный речной сток Сёмжи.

Полевые работы в устьях р. Кянды и р.Тамицы были выполнены авторами в рамках экспедиции августа 2016 года. Эти реки впадают в Белое море с правого берега Онежского залива. Величина прилива в Онежском заливе в среднем составляет около 2 м. Расстояние между устьями р. Кянды и р. Тамицы вдоль берега составляет всего 20 км, однако, различия в геоморфологических условиях приводят к особенностям в трансформации прилива на каждой из этих рек. Река Тамица имеет гораздо больший уклон дна на устьевом участке реки по сравнению с рекой Кяндой. Приливная осушка и дно русла р. Кянды в устье преимущественно илистые, а русло Тамицы в устье сложено грунтом, состоящим из смеси песка, ила, гальки и валунов. На устьевом участке, а также на всем протяжении нижнего течения р. Тамицы, встречаются пороги. Наибольшая измеренная в экспедиции величина прилива на взморье устьевой области р. Кянды 2,3 м, в устьевом створе величина прилива при этом составляла 2,19 м (5 августа 2016, сизигия). На взморье реки Тамицы наибольшая измеренная величина прилива – 2,4 м, а в устьевом створе – 1,53 м (10 августа 2016) (рисунок 2). При этом в р. Кянде зафиксированные приливные колебания уровня воды распространялись вверх по реке более чем на 8,5 км, а в р. Тамице не далее чем на 3,5 км. Обратные течения были зафиксированы в реке Кянде на расстоянии 8 км от устьевого створа. В устье Тамицы на расстоянии 1,5-1,8 км обратные течения были уже слабо выражены. Дальность проникновения соленых вод по результатам полевых экспериментов

на реке Кянде составила 6,5 км. В устье Тамицы оказалось, что соленая морская воды почти не преодолевает устьевой створ (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики динамики потока устьевых участков выбранных малых рек по результатам натурных измерений.

Устьевая область	Наибольшая измеренная величина прилива в устьевом створе	Максимальный измеренный расход воды на приливе (в сторону реки) в устьевом створе	Максимальный измеренный расход на отливе (в сторону моря) в устьевом створе	Измеренный речной расход (за приливный цикл)	Средний уклон реки в нижнем течении	Измеренная дальность проникновения прилива (приливных колебаний уровня воды)	Измеренная дальность проникновения обратных течений	Измеренная дальность проникновения соленых вод
	м	м <sup>3</sup> /с	м <sup>3</sup> /с	м <sup>3</sup> /с	‰	км	км	км
р. Сёмжа	8,9	-270	180	5	0,63	21	>8	12
р. Кянда	2,19	-138	85	8	данные в обработке	> 8,5	8	6,5
р. Тамица	1,53	-15,6	25,5	7	данные в обработке	от 2 до 3,5 км	1,8	< 0,5

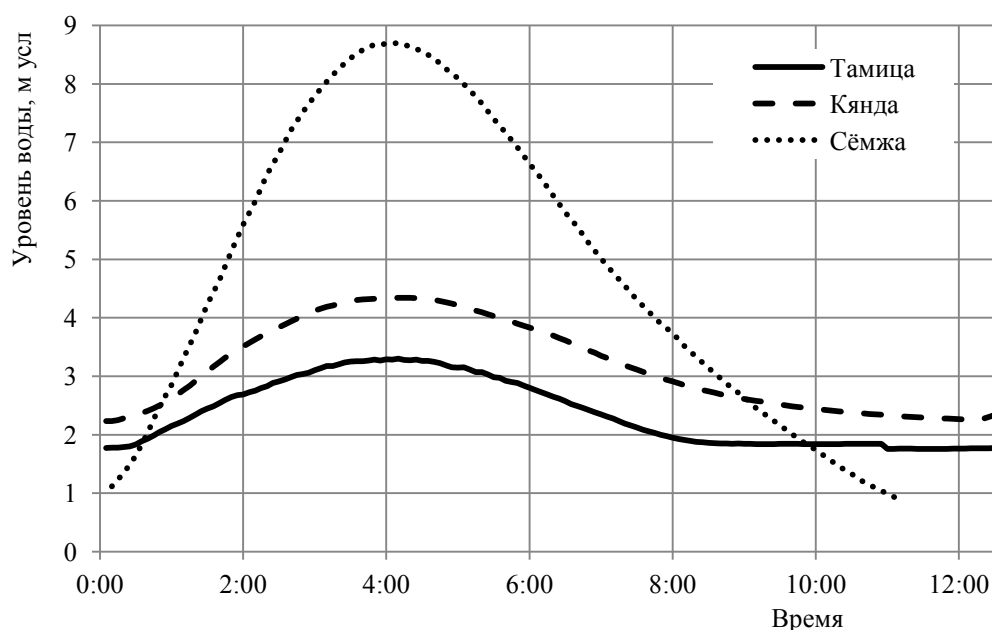


Рис. 2. Ход уровней воды в течение приливного цикла, наблюдаемый в устьевых створах рек Сёмжи, Кянды и Тамицы (без привязки к абсолютным отметкам).

Все полученные материалы находятся на стадии анализа и обработки. Несмотря на большие объемы полученных фактических данных их недостаточно, чтобы описать и исследовать динамику потока в этих устьях при всех возможных сочетаниях приливов, нагонов и речных расходов воды. Поэтому полученные данные планируется использовать для настройки, калибровки и верификации компьютерных гидродинамических моделей. Для реки Семжи уже была настроена такая одномерная модель движения водного потока на базе программного комплекса MIKE 11. Оказалось, что гидродинамическая модель устья Сёмжи



адекватно воспроизводит основные черты взаимодействия речных и морских вод в приливных условиях, однако полного соответствия между расчетной и фактической динамикой водного потока достичь не удалось. Дальность проникновения приливных колебаний уровня водной поверхности составила 15 км вместо фактических 21 км. Калибровка модели с помощью изменения коэффициента шероховатости и коррективов скорости течения не позволила достичь одновременного точного воспроизведения высоты приливной волны, времени начала приливного подъема уровня воды, времени наступления максимального уровня воды. Таким образом, одномерная модель Сёмжи при практических расчетах имеет существенное ограничение. Было сделано несколько предположений относительно причин неточностей, основной из которых может являться невозможность учета в программном комплексе изменения коэффициента гидравлического сопротивления и коррективов скорости в зависимости от уровня воды и фазы приливного цикла (Панченко, 2016).

Опыт создания двумерных и трехмерных моделей для приливных и нагонных устьев таких крупных рек как Северная Двина и Обь (Лебедева, Алабян и др., 2015; Архипов, 2015) показывает их применимость и действенность в решении задач динамики потока на таких больших и сложных объектах. Получающиеся модели адекватно отражают общие принципы проникновения приливной волны, соленых вод в устье. Ошибки результатов моделирования крупных объектов складываются из множества факторов, среди которых главный – неопределенность и неточность задания рельефа и граничных условий. За этими неопределенностями трудно выявить и анализировать возможности самой выбранной математической и численной модели. В случае с малыми реками, благодаря их компактному размеру, простой морфометрии, а значит, ограниченному числу действующих факторов, есть возможность с меньшими затратами получать более детальные данные для калибровки и подробно анализировать результаты моделирования. Такая работа может быть полезной для совершенствования моделей и крупных приливных устьев (Северной Двины, Мезени, Онеги), вокруг которых развита хозяйственная деятельность и существует целый ряд задач, связанных с проникновением соленых вод, затоплением дельты в условиях воздействия хозяйственных мероприятий и т.д.

### **Список литературы**

1. Лебедева С.В., Алабян А.М. Методика исследования динамики потока в устьевых областях крупных рек и ее реализация для устья Северной Двины // Сборник тезисов международной научно-практической конференции «Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии» памяти Ю.Б. Виноградова. СПб., 2015. С. 337–341
2. Панченко Е.Д. Моделирование гидродинамических процессов в приливном эстуарии малой реки // Тезисы доклада на конференции «XI семинар молодых ученых при Межвузовском Совете по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов», Нижний Новгород, 23-27 мая 2016
3. Лебедева С.В., Алабян А.М., Крыленко И.Н., Федорова Т.А. Наводнения в устье Северной Двины и их моделирование // Геориск, 2015. №1. С. 18–25
4. Архипов Б.В. и др. НТО по теме «Математическое моделирование влияния судоходного морского канала в северной части Обской губы на гидродинамический и термохалинный режим Обской губы». Москва. 2015. [[http://wwf.ru/data/oil/2015-12-16\\_short\\_rep.pdf](http://wwf.ru/data/oil/2015-12-16_short_rep.pdf)]

**Анализ долговременных событийных рядов в озерных экосистемах Кавказа методом графического анализа таксономических пропорций и унификации биоиндикационных реконструкций.**

Разумовский Викентий Львович, Разумовский Лев Владимирович  
*ИВП РАН, Москва*

В отличие от горных районов Западной Европы, данные о колебаниях климата на Кавказе в позднем голоцене очень скудны (Моисеенко и др., 2012; Соломина и др., 2013). Диатомовые комплексы Западного и Центрального Кавказа практически не изучены. Необходимость изменить создавшуюся ситуацию, и послужила основой для подготовки и выполнения проведенных исследований.

Основной целью проведенных исследований было изучение и реконструкция долговременных геоэкологических процессов в малых озерных экосистемах Западного и Центрального Кавказа по результатам диатомового анализа.

С 2009 по 2012 гг. было обследовано 26 водоемов (озер и прудов) проточного и непроточного генезиса различной размерности от малой (менее 1 км<sup>2</sup>) до сверхмалой категории (менее 0,01 км<sup>2</sup>). Из обследованных водоемов, 15 располагаются в Республике Кабардино-Балкария, 10 в Краснодарском Крае и один в Республике Карачаево-Черкессия.

Колонки донных отложений были отобраны из 5 озер: оз. Донгуз-Орункель (Донгуз-Орун-Кель), оз. Каракель (Кара-Кель), оз. Зеркальное, оз. Нижнее Хаймашинское и оз. Верхнее Хаймашинское (рис.1).

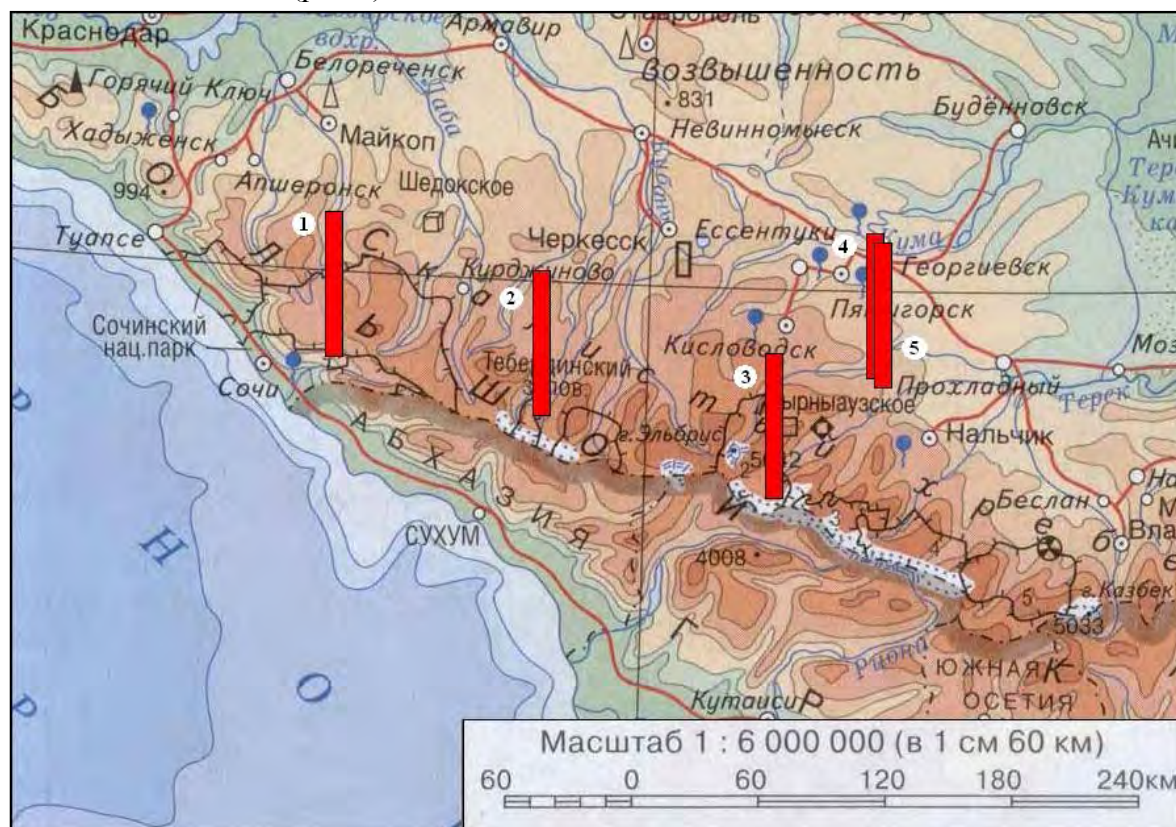


Рис. 1. Расположение колонок донных отложений █ отобранных на диатомовый анализ из озер Западного и Центрального Кавказа. Цифрами обозначены: 1- оз. Зеркальное; 2 - оз. Каракель; 3 - оз. Донгузорун; 4 - оз. Верхн. Хаймашинское; 5 - оз. Нижн. Хаймашинское.

Отбор, обработка и просмотр проб проводились по стандартным методикам (Давыдова, 1985). Определение возраста донных отложений водоемов проводились радиометрическим методом с использованием моделей датирования CRS и C1C на основе хронологии  $^{10}\text{Pb}$ , в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН по стандартным методикам. Были применены: литологические, геохимические, изотопные и другие методы изучения на базе института минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (Дарьин, Калугин, 2012).

Помимо классических методов диатомового анализа был применен метод графического анализа таксономических пропорций в диатомовых комплексах (Разумовский, Моисеенко, 2009). В работе был так же применен новый способ расчета численных значений рН и температуры в озерах (Моисеенко, Разумовский, 2009).

Особое внимание было уделено исследованиям и идентификации переотложенных диатомовых комплексов. Наиболее представительные реконструкции были получены для оз. Каракель. Переотложенные комплексы были приурочены к интервалам: 22-23 см; 23-24 см; 28-29 см; 32-33 см; 33-34 см; 37-38 см; 43-44 см (рис.2).

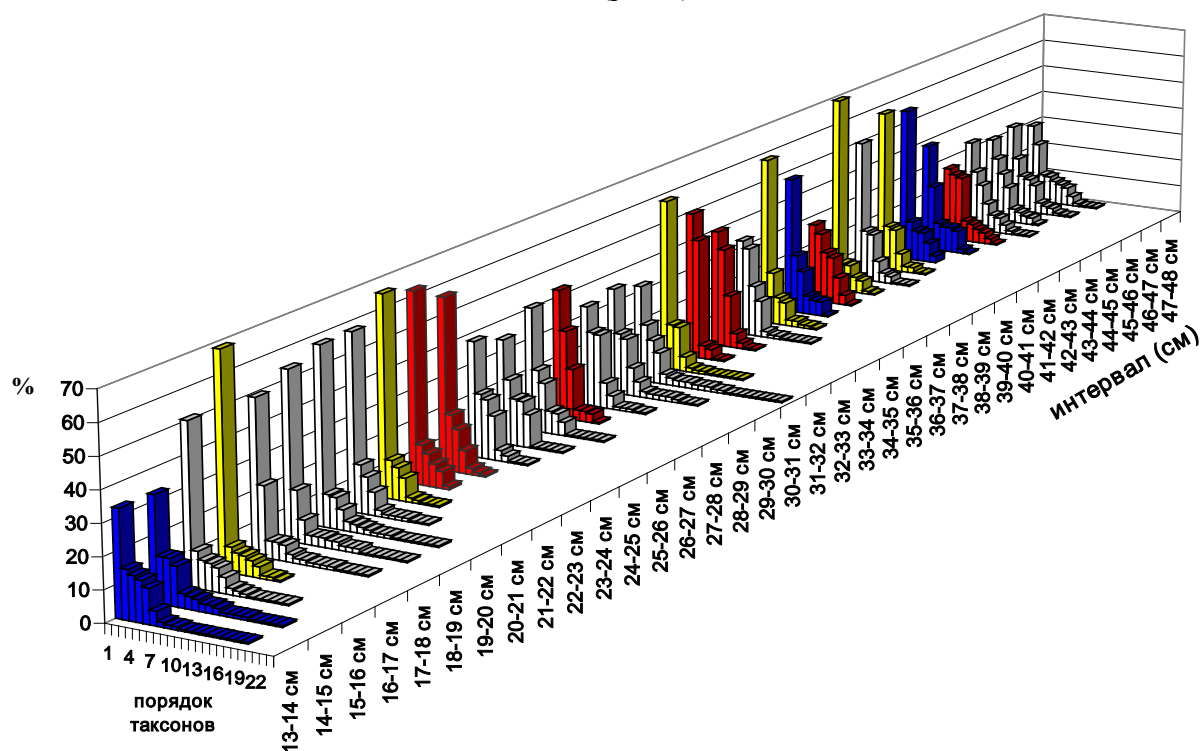


Рис. 2. Таксономическая структура диатомовых комплексов в донных отложениях оз. Каракель в интервале 13-48 см.

Условные обозначения: ■ – переотложенные комплексы; ■ – частично переотложенные комплексы; ■ – диатомовые комплексы со сверхдоминированием одного таксона.

Диатомовые комплексы, в которых есть выраженные элементы переотложения, располагаются в интервалах: 36-37 см; 41-42 см; 42-43 см. Вероятно, заметное искажение прижизненных пропорций, которое зафиксировано в интервалах: 13-14 см и 14-15 см, так же связано с процессами переотложения (рис. 2).

Кроме того, была выделена группа гистограмм, для которых характерны два признака: выраженное доминирование только одного таксона и сокращение общей численности идентифицированных таксонов (16-17 см; 21-22 см; 31-32 см; 35-36 см; 38-39 см; 40-41 см) (рис. 2). Обычно, такие таксономические пропорции в диатомовых комплексах характерны

для водоемов с неблагоприятной экологической обстановкой, связанной с внешним воздействием абиотического характера.

Следует особо подчеркнуть, что полученные результаты и основанные на этом выводы об имеющихся процессах переотложения, были получены до возможности ознакомиться с результатами других видов анализа.

По результатам изотопного анализа возраст осадков на глубине 54 см соответствует возрасту 2235 лет ( $\pm 35$  лет) (Соломина и др, 2013). Следовательно, верхние 48 см осадка, для которых был проведен диатомовый анализ, сформировались, приблизительно, за последние 2000 лет.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы и заключения:

1. Продемонстрирована информативность и достоверность распознавания переотложенных (перемещенных) диатомовых комплексов методом графического анализа таксономических пропорций. Это было подтверждено геохимическими, литологическими и изотопными методами.

2. В 5 обследованных озерах были констатированы долговременные процессы последовательного подщелачивания озёрных экосистем. Эти процессы подтверждены современными гидрохимическими исследованиями.

3. Температурная приуроченность видов-индикаторов диатомовых водорослей позволяет установить достоверные тенденции изменения температуры водоёмов за длительный период (125-2000 лет).

### **Список литературы**

Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л., Наука, 1985. 244 с.

Дарьин А.В., Калугин И.А. Реконструкция климата Горного Алтая по данным литолого-геохимических исследований донных осадков озера Телецкое // Изв. РАН. Сер. Географическая. 2012. №6. С.74 – 82.

Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В. Новая методика реконструкции катионно-анионного баланса в озерах (диатомовый анализ) // Докл. академии наук. Общ. биология. Т. 427. № 1. С. 132 – 135.

Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В., Гашкина Н.А., Шевченко А.В., Разумовский В.Л., Машуков А.С., Хорошавин В.Ю. Палеоэкологические исследования горных озер // Вод. ресурсы. 2012. Т.39. №5. С. 543 – 557.

Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Докл. академии наук. Общ. биология. 2009. Т. 429. № 3. С.274 – 277.

Соломина О.Н., Калугин И.А., Александрин М.Ю., Бушуева И.С., Дарин А.В., Долгова Е.А., Жомелли В., Иванов М.Н., Мацковский В.В., Овчинников Д.В., Павлова И.О., Разумовский Л.В., Чепурная А.А. Бурение осадков оз. Каракель (долина р. Теберда) и перспективы реконструкции истории оледенения и климата голоцена на Кавказе // Лёд и Снег. 2013. № 2 (122). С. 102 – 111.

## **Маловодный период в бассейне реки Дон 2007-2015 годов: причины и последствия.**

**Илич Владислав Предрагович, Киреева Мария Борисовна,**

**Гончаров Александр Валентинович**

*Московский Государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва*

Бассейн Дона занимает площадь равную 422 тыс. км<sup>2</sup>. В настоящий момент на ней проживает около 29 млн. человек. Реки являются одним из основных источников воды для сельского хозяйства, питьевого и коммунального водоснабжения, промышленности, рыбного хозяйства. В связи с этим, рекордное по своей длительности маловодие 2007-2015 годов может привести к катастрофическим последствиям для значительной части юга России. В данной работе предпринята попытка дать комплексную оценку влияния маловодного периода на водные экосистемы Дона путем расчета экологического стока и поиска прямых зависимостей между биологическими и гидрологическими параметрами, выявить причины лет низкой водности при помощи анализа рядов метеорологических наблюдений. Кроме того, исследуется пространственная и временная неоднородность стока при помощи карт обеспеченности расходов воды по сезонам и параметризации стока.

Расчет экологического стока проводился по методике В.Г.Дубининой. Были получены значения восстановленного стока, объема допустимого изъятия и, собственно, экологического стока. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что наиболее критичной ситуация была в 2011, 2014 и 2015 годах. Для этих лет значения объема допустимого изъятия весьма низкие, водозабор должен был проводиться лишь для приоритетных водопользователей. В остальные года согласно расчетам забор воды из речных систем не должен превышать 1,4 км<sup>3</sup>/год.

Весьма важным показателем состояния водных экосистем является концентрация фитопланктона. За маловодный период произошло ее увеличение на порядок. Основными причинами этого, по всей видимости, являются более благоприятный скоростной режим, увеличение прогреваемости воды в связи со снижением уровней и рост концентрации биогенных элементов. По классификации Трифионовой проведена оценка изменения трофности водотоков. Был сделан вывод о том, что за маловодие вода из олиготрофной стала эвтрофной.

Еще одним ключевым показателем состояния экосистем является количество сеголетков рыб, так как он отражает воспроизводящую способность ихтиофауны. Для анализа использовались данные по Цимлянскому водохранилищу. Была выявлена тенденция к снижению мальков рыб всех видов за маловодный период. Этот показатель имеет весьма тесную прямую связь с уровнями воды в апреле и мае – месяцами нереста большинства видов рыб. В то же время, для таких рыб, как судак и бычки наблюдается значительное увеличение сеголетков в самые маловодные годы. Это может быть связано как с обмелением большого количества песчаных кос (основного места нерестилища этих рыб), сделавшим их доступными для нереста, так и с негидрологическими факторами.

Большое количество внимания в рамках данного исследования было уделено пространственно-временной неоднородности маловодия. Основным способом ее анализа стал картографический метод: по данным среднемесячных расходов воды для 13 гидрологических постов была создана серия карт обеспеченностей речного стока по различным сезонам.



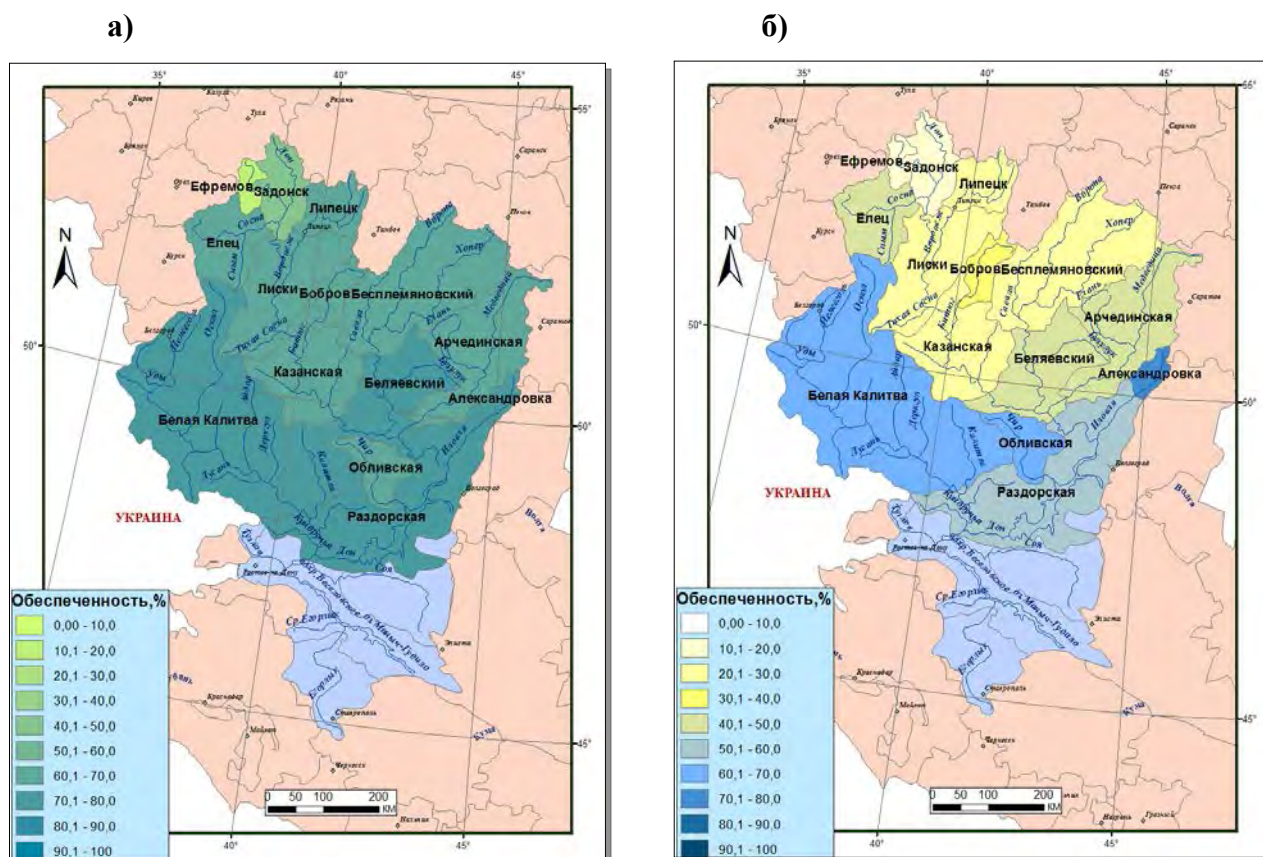


Рис. 1. Карты средних обеспеченностей речного стока за маловодный период (а – водохозяйственные года, б – зимний период).

Из рисунка 1.а следует, что для верховьев Дона маловодие не характерно, а для Красивой Мечи и вовсе стоит говорить о периоде повышенной водности. Тем не менее, для остальной части бассейна значения обеспеченности колеблются между 70 и 90 %. Наиболее критическая ситуация наблюдается на Дону ниже Цимлянской ГЭС и в бассейне Северского Донца. Несмотря на столь низкие значения водности для водохозяйственных лет, в зимние месяцы ситуация куда менее критичная. По всей видимости, это говорит о перераспределении стока внутри года, что связано с глобальным потеплением: к увеличению зимних расходов воды приводят регулярные оттепели. Этот вывод подтверждается картой за весенний период, согласно которой обеспеченность стока за март, апрель и май для большинства постов не превышает 80 %.

Еще одной любопытной особенностью, выявленной при помощи серии карт, является чередование в противофазе многоводных и маловодных лет для реки Чир (пост Обливская) и соседних рек. Причины этого понять пока не удалось, однако можно предположить, что определяющим фактором являются особенности хозяйственной деятельности.

Для анализа внутригодового перераспределения расходов воды за период маловодия была проведена попытка параметризации стока. Для этого рассчитывались отношения расходов за различные фазы водного режима для периода до 1977 года, с 1977 по 2006 год и с 2007 по 2015 год. По итогам этой работы вывод об уменьшении доли весеннего половодья и увеличении доли зимней межени в годовом стоке стал основным. Несмотря на то, что эти тенденции начались давно, именно в маловодный период они развиваются с максимальной скоростью.

Для выявления причин маловодия был проведен анализ метеорологической информации. Искались зависимости между расходами воды и суммой осадков, температурой воздуха. Для периода с 1977 по 2013 год довольно тесная связь имеется лишь между осадками года  $n$  и стоком года  $n+1$ , что, по всей видимости, говорит о влиянии климата на гидрологическую ситуацию через запас подземных вод. В то же время если говорить о зависимостях между метеорологическими и гидрологическими параметрами только за период исследуемого маловодия, то почти для всех постов наблюдается тесная связь между осадками и стоком одного года. Зависимость стока от осадков предыдущего года сильно различается на разных створах для этого временного интервала. С севера бассейна к югу характерно увеличение тесноты связей между стоком и среднегодовыми температурами воздуха для 2007-2015 годов.

В результате климатических изменений произошло значительное снижение и перераспределение объема речного стока, что, в свою очередь, сильно отразилось на водных экосистемах. Наблюдаются ухудшение качества воды в реках, истощение рыбных запасов. Перечисленные выше причины делают необходимым перераспределение, а возможно и снижение, хозяйственной деятельности человека, что позволит избежать катастрофических последствий для населения и речных систем.

#### **Список литературы**

1. Маркин В.Н. Внутригодовое распределение экологического стока малых рек. М.: ФГОУ ВПО МГУП
2. Елизарьев А. Н., Фашевская Т. Б., Афанасьев И. А., Кияшко И. Ю. Оценка водного потенциала Республики Башкортостан с использованием ГИС технологий. Уфа: ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
3. Дубинина В.Г. Методические указания по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска). М.: ФГУ «Межведомственная ихтиологическая комиссия», 2008
4. Дубинина В.Г. Методология нормирования безвозвратного изъятия речного стока. М.: ФГУ «Межведомственная ихтиологическая комиссия»
5. Фашевский Б.В. Проблемы экологического нормирования водного режима рек. //Мелиорация и водное хозяйство, 1993. № 5.
6. Петенков А.В., Бабкина И.В., Ершова Л.М. Гидрологическое обоснование водохозяйственной программы. Красноярск: СибНИИГиМ
7. Каск А., Велнер Х. Определение лимитирующего минимального расхода воды рек в интересе охраны водоемов от загрязнения и истощения. Таллин
8. Киреева М.Б. Водный режим рек бассейна Дона в условиях меняющегося климата. Москва, 2013
9. Киреева М.Б. и Езерова Н. Роль паводочного стока в изменчивости водного режима крупных рек ЕТР / Москва
10. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Рец Е.П., Бугров А.А. Особенности формирования современных ресурсов подземных вод европейской части России// Водные ресурсы, 2015, том 42, № 5, с. 457-466
11. Магрицкий Д.В. Речной сток и гидрологические расчеты. Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 2014.



12. Грищенко И.С., Юрьев А.В., Хосровянц И.Л. Оценка воздействия на окружающую среду по теме «Разработка проекта нормативов допустимого воздействия по бассейну реки Кубань». М.:2011. СОВИНТЕРВОД.

13. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. JL: Наука, 1990. 179 с

14. Сайт научно-исследовательского института рыбного хозяйства. URL: <http://azniirkh.ru/>

15. R.Tharme. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers// River Research and Applications 2003. Volume 19. Issue 5-6. Pages 397-441

16. Abbasov R. K., Smakhtin V. U. Introducing environmental thresholds into water withdrawal management of mountain streams in the Kura River basin, Azerbaijan. Hydrological Sciences- Journal-des Sciences Hydrologiques, 54(6) December 2009, p. 1068-1077

17. Smolar-Zvanut N. EF methods and the evaluation of gep method// URL: [assets.panda.org](http://assets.panda.org)

## Изучение качества воды в озёрах Вельё и Валдайское.

**Бекасов Максим Анатольевич, Ефимова Людмила Евгеньевна, Терский Павел Николаевич, Ерина Оксана Николаевна, Горшкова Ольга Михайловна.**

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва*

Работа основана на результатах комплексного исследования двух крупнейших озёр на территории Валдайской возвышенности – Вельё и Валдайского. Особенностью водоёмов является их заповедный статус, поэтому изучение современного гидроэкологического состояния озёр и качества воды в них приобретает первоочередное значение для данного региона.

Основная **цель работы** – установление временных и пространственных закономерностей в распределении характеристик качества воды водоемов и определение трофического статуса этих озёр. В число определяемых параметров входили электропроводность воды, содержание разных форм фосфора, нефтепродуктов и СПАВ.

Полевой этап исследования осуществлялся с 18 по 25 июля и включал в себя объезд различных частей водоёмов на моторной лодке, проведение зондирования водной толщи кондуктометром, а также отбор проб воды. Станции, на которых производились наблюдения, соответствовали точкам мониторинга, назначенным при проведении экспедиции НСО географического факультета МГУ в феврале 2016 года. Это позволило сравнить полученные данные и сделать выводы о сезонном изменении гидрологических характеристик озёр национального парка «Валдайский». Схемы станций исследования представлены на рисунке 1.

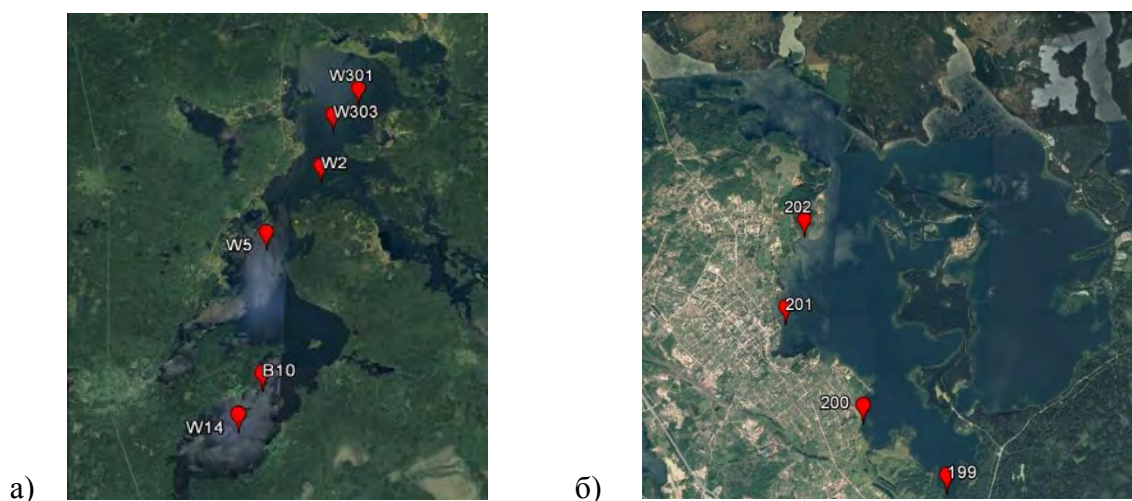


Рис. 1. Схема станций, на которых проводились исследования на озёрах Вельё (а) и Валдай (б).

Данные о вертикальном распределении температуры воды оз.Вельё в летний период (рис.2 а) свидетельствуют о наличии слоя температурного скачка на глубинах 10-15 м в пределах всей толщи воодоёма, максимальные температуры наблюдаются в северной, наиболее мелководной части озера. Анализ электропроводности воды показал ее относительно равномерное распределение в приповерхностных слоях озера. (70-75) мкСм/см), максимальные изменения по профилю не превышали 20 мкСм/см (рис.2 б).

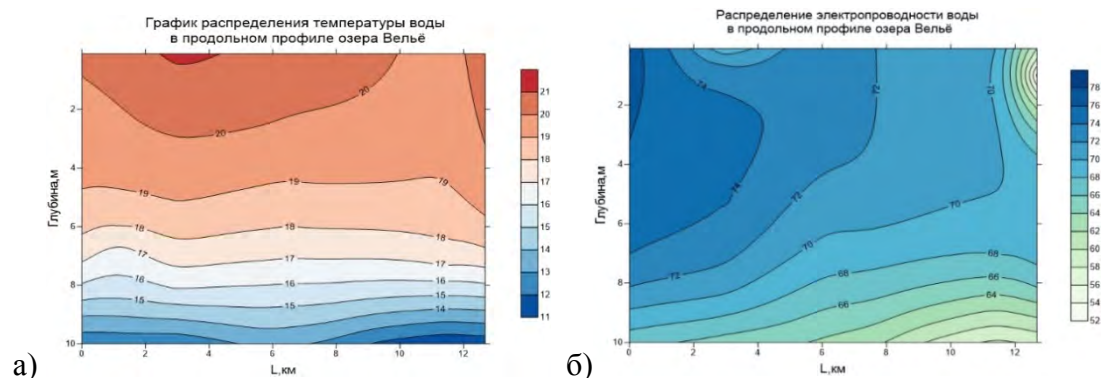


Рис. 2. Распределение температуры (а) и электропроводности (б) воды по продольному профилю оз. Вельё в июле 2016 г.

Распределение электропроводности воды в озере, полученное по результатам летней (рис.2 б) и зимней (рис.3) гидролого-гидрохимических съёмок озера Вельё, свидетельствует о крайне малой изменчивости данного показателя. Это обусловлено медленным водообменом в озере и малым количеством притоков, способных привести к перемещению водных масс в водоёме. Зимой 2016 г. в некоторых районах озера в приповерхностных горизонтах отмечено увеличение электропроводности до 86 мкСм/см. Данное повышение связано с локальным таянием льда и снега, вызванным внезапной оттепелью в период проведения зимней экспедиции.

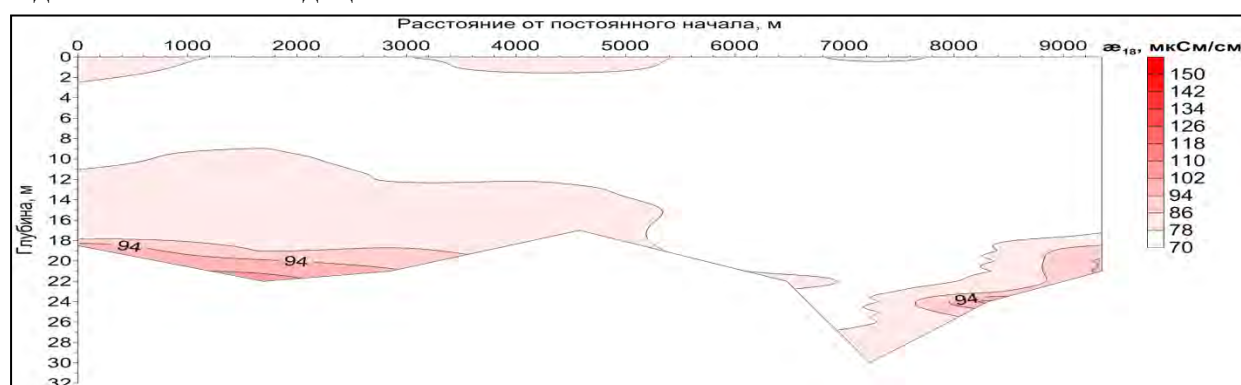


Рис. 3. Распределение электропроводности воды по продольному профилю оз. Вельё зимой 2016 г.

Важным показателем качества воды в водоёме служит содержание фосфора. Для озера Вельё характерно неоднородное распределение фосфора по глубине. Так, концентрация общего фосфора в приповерхностных слоях озера составила от 11 до 23 мкг/л. В придонных же горизонтах его содержание варьировало от 45 до 290 мкг/л. На рисунке 4 представлено вертикальное распределение минеральной и органической форм фосфора в зимний и летний периоды.

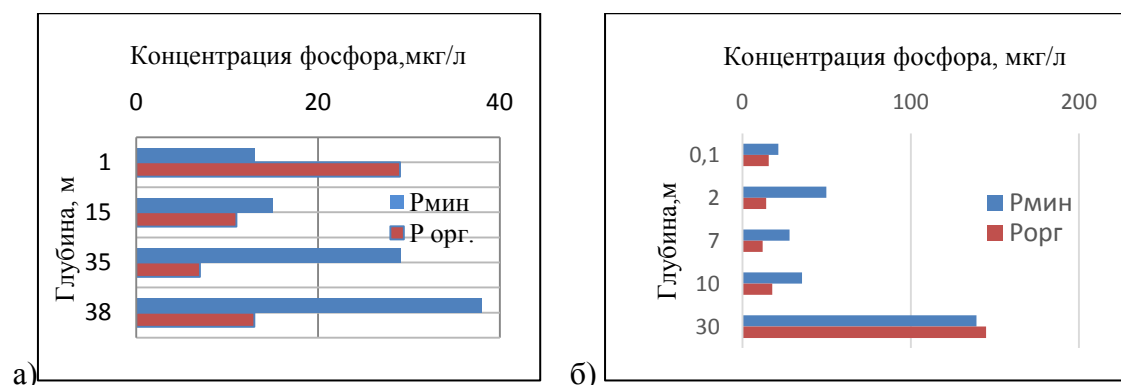


Рис. 4. Вертикальное распределение минеральной и органической форм фосфора в воде оз. Велье по данным зимней (а) и летней (б) гидрохимических съемок.

На основе данных о содержании общего фосфора и величины прозрачности воды был рассчитан индекс TSI (Даценко, 2007) по формулам:

$$TSI_{SD} = 60 - 14.41 \cdot \ln SD$$

$$TSI_p = 14.42 \cdot \ln P_{\text{общ}} + 4.15,$$

где  $P_{\text{общ}}$  - среднее содержание общего фосфора (мкг/л), а  $SD$  - величина прозрачности воды (см).

Для вычисления итогового индекса TSI необходимо осреднить значения  $TSI_{SD}$  и  $TSI_p$ . Для озера Вельё величина TSI составила 52, что соответствует границе эвтрофного и мезотрофного состояния водоёмов.

Помимо вышеописанных работ в задачи исследования входила оценка уровня загрязнения воды озер Валдай и Вельё. Отбор проб воды из поверхностных горизонтов для определения суммарного содержания нефтепродуктов (НФПР) и поверхностно-активных веществ (СПАВ) в озере Валдай осуществлялся в районе городского пляжа (точки 200 и 202), в заливе южного плеса озера вне городской черты (199), а также в месте сброса городских сточных вод (201) (рис.1 б). В озере Вельё отбор проб был проведен в точках w2, w301, w303 (рис 1а). Определение выполнялось флуориметрическим методом (Горшкова, 2015). Результаты анализа проб представлены в таблице 1.

Сравнивая полученные данные о содержании НФПР и СПАВ в воде озёр Валдайское и Вельё с установленными ГОСТом нормативами для водоемов культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения, можно сделать вывод о соответствии требованиям ПДК. Максимальное загрязнение нефтепродуктами воды озера Валдай было отмечено в южной части в районе места сброса коммунальных сточных вод, а в озере Велье – в наиболее узкой части акватории. В целом можно сказать, что содержание нефтепродуктов в озёрах крайне мало и их влияние на экосистему водоёмов пока слабое.

Таблица 1. Содержание суммарных нефтепродуктов и поверхностно-активных веществ в озёрах Вельё и Валдай.

№ точки	Глубина	Нефтепродукты, мг/л	ПАВ, мг/л
Вельё w2	2	0,019	0,03
Вельё w2	0,5	0,018	0,07
Вельё w5	0,5	0,033	0,03
Вельё w5	2,7	0,037	0,04
Вельё w303	2	0,013	0,04
Вельё w301	2	0,01	0,09
Вельё w301	0,5	0,016	0,05
Валдай 202	0,1	0,013	0,07
Валдай 200	0,1	0,016	0,12
Валдай 201	0,1	0,01	0,1
<i>ПДК хоз-быт</i>		0,300	0,50
<i>ПДКрыб.хоз.</i>		0,050	0,10

Таким образом, водные массы озера Вельё характеризуются малой изменчивостью температуры и электропроводности воды в продольном разрезе. На основе данных о содержании общего фосфора и прозрачности воды сделан вывод о том, что трофическое состояние озера оценивается как переходное от мезотрофного к эвтрофному. Антропогенная нагрузка на озёра Вельё и Валдай незначительна, превышения санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных ПДК по содержанию нефтепродуктов в воде здесь не обнаружено.

### Список литературы

1. Даценко Ю.С. «Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты» Москва: ГЕОС, 2007., с.34-36
2. Методы лабораторных и полевых исследований: Учебно-методическое пособие / Горшкова О.М., Горецкая А. Г., Корешкова Т.Н., Краснушкин А. В., Марголина И. Л., Потапов А. А., Пращикина Е. М., Шкиль А.Н.; Под ред. М. В. Слипенчука. 3-е изд. М.: Географический факультет МГУ, 2015. 220 с.

Работа выполнена по теме ГЗ I.10.

## **Сток и водный режим рек арктической зоны Европейской территории России в современных климатических условиях.** Мироненко А.А.

Мироненко Анастасия Александровна

*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

В настоящее время пристальное внимание многих ученых и исследователей всего мира сосредоточено на таком загадочном и малоизученном регионе, как Арктика.

Предметом исследования в ходе работы стала проблема изучения стока и водного режима арктических рек в современных климатических условиях.

Объектами исследования в работе выступили реки, протекающие по арктической зоне Европейской территории России (далее ЕТР). В качестве основных были выбраны следующие реки: Северная Двина, Онега и Мезень, Печора, а также некоторые реки Кольского полуострова.

Основная **цель работы** – исследование стока и водного режима рек Арктического региона в пределах Европейской территории России в условиях глобальных изменений природной среды и климата.

Достижение цели исследования на первых этапах работы предполагало решение следующих основных задач:

1. Создание обширной базы гидрологических данных с информацией о количественных показателях стока на исследуемых водомерных постах арктических рек ЕТР;
2. Расчет величины годового и сезонного стока для арктических рек ЕТР;
3. Сравнение рассчитанных количественных показателей стока за разные временные промежутки;
4. Оценка цикличности многолетних колебаний речного стока и прогноз изменения притока речных вод в Северный Ледовитый океан;
5. Построение комплексных гидрологических карт стока и водного режима рек ЕТР на основе рассчитанных показателей для Атласа Арктики.

В ходе работы приведенные выше задачи были решены в той или иной мере благодаря выполнению следующего алгоритма действий:

- поиск закрытых и действующих водомерных постов на участках рек, расположенных в арктической и субарктической зонах ЕТР, со сроками наблюдения не менее 20 лет (в малоизученных областях – не менее 10 лет); систематизация и сортировка данных о периоде действия постов, их географическом положении и прочих содержательных характеристиках;
- определение уровня полноты и достаточности гидрологической информации для исследований в данном регионе;
- сбор гидрологической информации о расходах воды за 1880-2013 годы с водомерных постов арктической зоны ЕТР, дальнейшая обработка информации и ее представление в удобном для восприятия виде;
- вычисление на основе собранной информации количественных показателей стока – сезонного и годового – для территорий с большой степенью гидрологической изученности;
- применение метода интерполяции при расчете стока для неизученных районов Арктики;



- построение и расчет гидрографов для крупных арктических рек России;
- сопоставление полученных показателей стока за два периода: 1946-1979 гг. и 1980-2013 гг., выявление основных тенденций изменения характеристик речного стока в арктической зоне ЕТР;
- построение комплексных гидрологических карт с информацией о стоке и водном режиме рек Российской Арктики; в рамках данного этапа – изучение форм представления картографической и гидрологической информации в разных странах мира и выбор наиболее наглядного способа отображения такой информации на картах, подбор оптимальных масштабов для изображения объектов гидрологии, генерализация данных объектов в соответствии с тематикой карт.

Анализ гидрологических данных в ходе работы осуществлялся тремя основными методами:

- статистическим, представляющим собой анализ рядов наблюдений на однородность и независимость с применением различных статистических критериев (Спирмена, Фишера, Стьюдента и Андерсона и др.) (Рисунок 1);
- методом разностно-интегральных кривых, являющимся наглядным для представления временной изменчивости гидрологических характеристик (Рисунок 2);
- картографическим методом, представляющимся наиболее удобным для представления пространственного распределения основных гидрологических величин и статистических параметров (Рисунок 3).

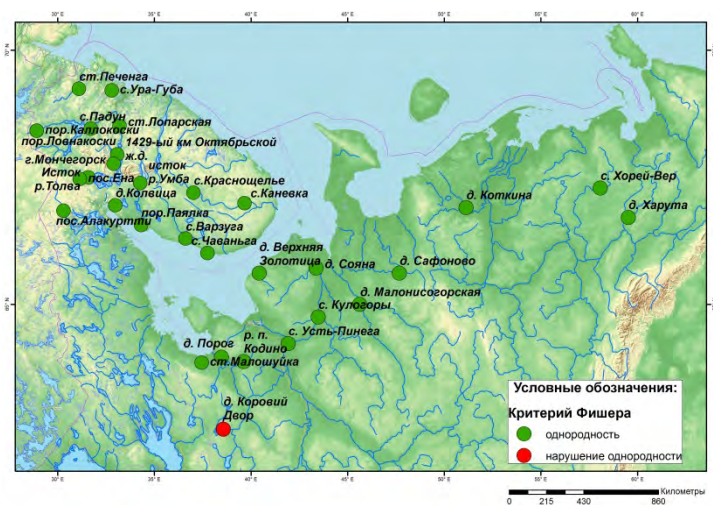


Рис. 1. Результат проверки рядов 1946-1979 и 1980-2013 гг. на однородность по критерию Фишера.

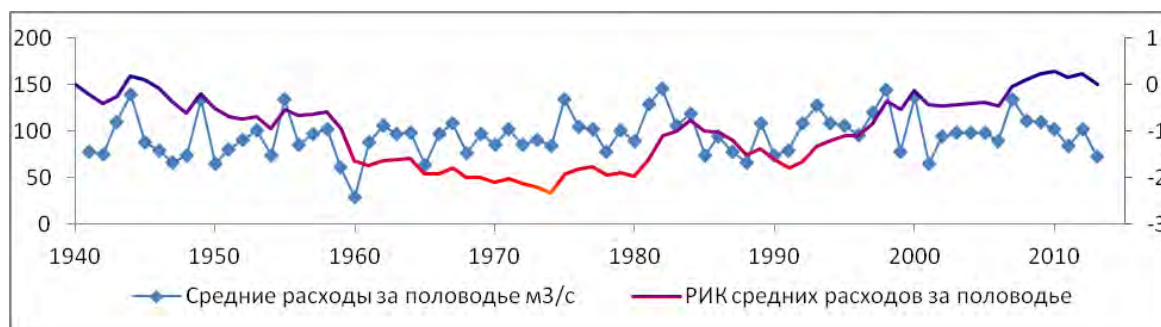


Рис. 2. РИК среднегодовых значений расходов на р. Поной в районе д. Поной.



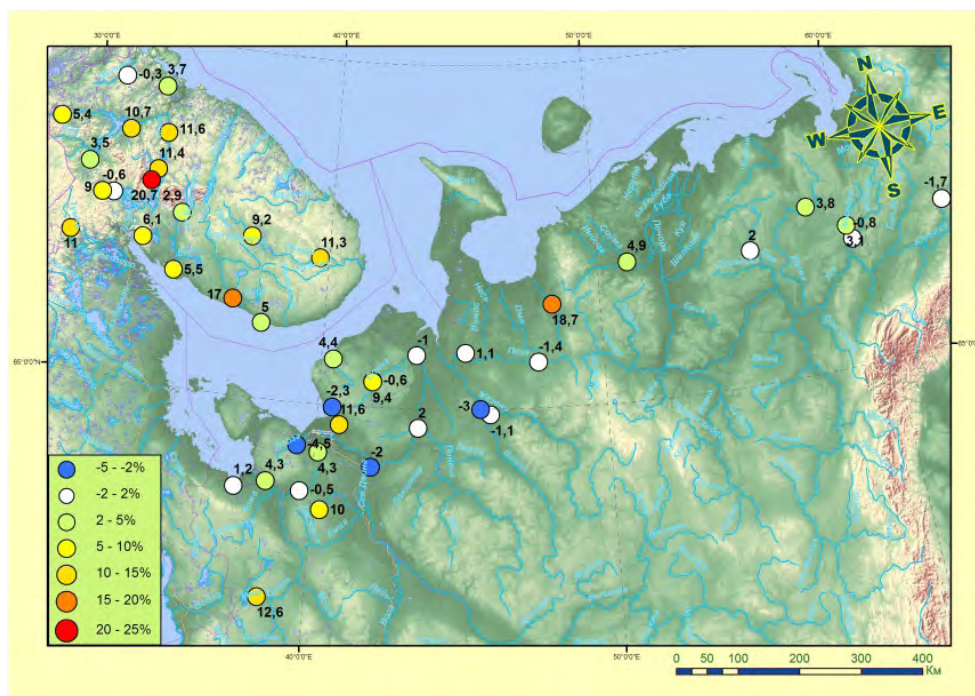


Рис. 3. Изменение величины слоя стока от 1946-1979 к 1980-2013 гг.

В ходе работы были определены некоторые дополнительные задачи, решение которых еще предстоит осуществить. Среди них:

1. Выделение в пределах исследуемой территории некоторых гидрологических районов на основе произведенных расчетов (предположительно трех районов: первый - реки Кольского полуострова, второй – Северная Двина, Онега и Мезень и их притоки, и третий – Печора с ее притоками), обоснование такого районирования и выделение особенностей каждого района;

2. Освоение и применение метода представления информации о расходах воды с помощью утолщения линий, когда определенной толщине линии реки соответствует определенная величина расхода воды (Рисунок 4);

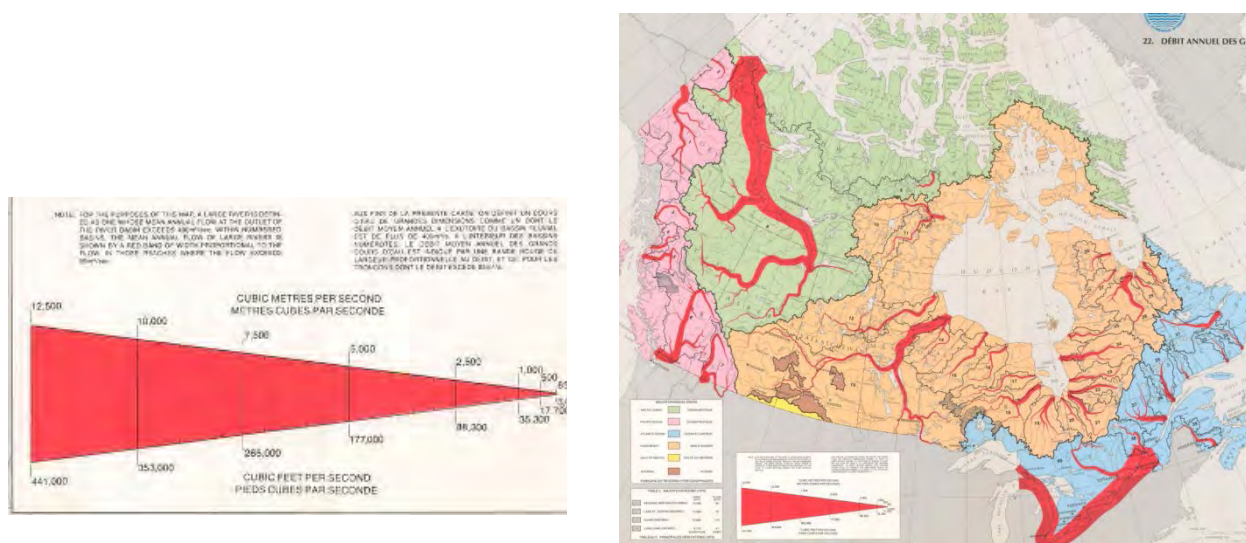


Рис. 4. Изображение расхода воды путем утолщения линии рек (Источник – Электронный атлас Канады).

3. Прогнозирование будущей гидрологической ситуации на реках арктической зоны ЕТР.

Результаты, полученные в ходе данного исследования, станут хорошей опорной базой для будущих исследований на реках данного арктического регионе ЕТР.

## **Изучение пойменных озер р. Амур: результаты гидролого-гидрохимического исследования.**

**Беляев Борис Михайлович<sup>1</sup>, Краснова Елена Дмитриевна<sup>2</sup>,**

**Герасимова Ольга Владимировна<sup>3</sup>, Смиренский Сергей Михайлович<sup>4</sup>**

*1 - Географический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова*

*2 - Биологический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова*

*3 - Полярный институт морского хозяйства и океанографии им. Книповича, Мурманск*

*4 - Муравьевский парк устойчивого природопользования (Негосударственная особо используемая природная территория), Амурская область.*

### **Введение**

В июне 2016 года по приглашению руководства Муравьевского парка устойчивого природопользования была организована экспедиция в Тамбовский район Амурской области для изучения гидрологических и гидробиологических характеристик озер поймы р. Амур расположенных в черте Парка и в его окрестностях на территории водно-болотных угодий международного значения, определенных в рамках Рамсарской конвенции. Цель исследования - выделение особенностей взаимосвязи гидролого-гидрохимических, гидробиологических параметров озер и их удаленности от современного русла р. Амур, высотного положения. Основными задачами работы была инвентаризация водоемов Парка, включая описание их гидрологических и гидробиологических характеристик. На изучаемой территории подобные исследования выполнялись впервые.

Муравьевский парк устойчивого природопользования расположен на территории Зейско-Бурейской равнины в долине реки Амур в 100 км ниже по течению Амура от устья реки Зеи, на расстоянии 50-60 км от г. Благовещенск. Долина реки Амур в Муравьевском парке представляет собой комплекс террас, начавших формироваться со среднечетвертичного времени. Первая надпойменная терраса с высотами 120-130 м обрывается к высокой пойме хорошо выраженным уступом около 10 м высотой (Власова и др., 2016). Поверхность террасы пологоволнистая с понижениями. Небольшие понижения отличимы по растительности, более крупные представляют собой зарастающие озера, некоторые из которых превратились в заболоченные территории (Ахтямов и др., 2002).

Всего было изучено 11 озер (табл. 1). Для каждого построен батиметрический план, определены основные морфометрические характеристики (длина, максимальная ширина, площадь), особенности, связанные с географическим положением, характер вертикальной структуры и пространственного распределения гидролого-гидрохимических параметров (температура, электропроводность, содержание растворенного кислорода), прозрачность воды по диску Секки. Также был выполнен комплекс гидробиологических работ, включавший изучение состава фитопланктона, перифитона, зоопланктона и зообентоса. В данной работе речь пойдет о результатах гидролого-гидрохимической части исследования.

Таблица 1. Основные морфометрические характеристики исследованных водоемов.

№	Озеро	Высота, м WGS84	Длина, м	Макс. ширина, м	Площадь, км <sup>2</sup>	Координаты
1	Песчаное-Муравьевское	117	1340	310	0,32	127°42'21,683"E 49°47'41,992"N
2	Вторые Мешки	117	1275	120	0,13	127°38'23,874"E 49°50'40,249"N
3	Штаны	117	560	160	0,05	127°39'42,262"E 49°49'39,784"N
4	Первые Мешки	118	450	100	0,05	127°39'55,806"E 49°50'4,169"N
5	Кривое	119	3240	210	0,35	127°36'13,831"E 49°51'47,831"N
6	Гальянистое	119	170	40	0,005	127°38'6,21"E 49°53'15,606"N
7	Песчаное-Духовское	119	1880	215	0,28	127°38'52,872"E 49°55'6,174"N
8	Камышовое	119	505	190	0,09	127°40'4,006"E 49°52'59,354"N
9	Второе Болотное (ок. Лысенково)	119	80	50	0,003	127°36'2,022"E 49°54'6,534"N
10	Болотное (Степанцово)	120	95	60	0,004	127°41'1,486"E 49°54'51,581"N
11	Капустиха	123	1000	215	0,09	127°41'54,833"E 49°52'25,609"N

### Методы

Для характеристики донного рельефа на каждом водоеме комплексом эхолот-GPS Lowrance Elite-5 HDI (произв. Мексика) была выполнена батиметрическая съемка. Обработка данных, записанных в память эхолота, и построение батиметрических планов озер были выполнены с помощью программ «SonarViewer 2.1.2», «GlobalMapper 14», «ArcMap 10.1». Морфометрические характеристики водоемов определялись в программной среде «ArcGis 10.1» на основе полученных пространственных данных и космического снимка, загруженного с интернет-ресурса <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Высотные отметки озер были определены в системе координат WGS84 по цифровой модели рельефа SRTM, полученной из интернет-источника <http://srtm.csi.cgiar.org/selection/inputCoord.asp>.

По ходу записи глубин на вертикальных профилях с шагом 0,5 м выполнялись измерения температуры и электропроводности воды кондуктометром YSI Pro 30 (США) с погружным зондом, а также содержания в ней растворенного кислорода оптическим оксиметром YSI ProODO (США).

## Результаты

Исследуемые водоемы располагались в схожих географических условиях среди пойменных лугов р. Амур разной степени заболоченности. Наибольшая глубина озер изменяется от 1,2 до 3,5 м, площадь от 0,003 до 0,35 км<sup>2</sup> (рис.2).

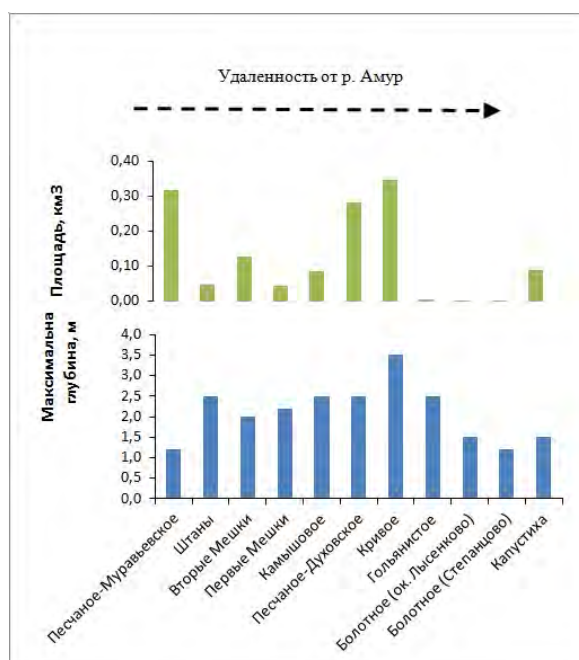


Рис.2. Изменение значений максимальной глубины и площади озер.

Максимальная глубина озер, расположенных ближе всего к р. Амур и наиболее удаленных от неё имеет значения – от 1,2 до 1,5 м. Этот показатель для других изученных водоемов изменяется в пределах 2,0 – 2,5 м. Исключением является оз. Кривое с максимальной глубиной 3,5 м. Из-за заболачивания на периферии площади озер значительно более маленькие.

Значения электропроводности (приведенной к 25°С) осредненные по водоемам изменяются в пределах от 69 до 198  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (рис.3). Минимальное значение характерно для оз. Штаны, и, судя по отметкам высоких вод, это вызвано наличием тесной гидравлической связи озер Штаны и Дубовое, разделенных невысокой перемычкой. Наибольшая электропроводность была отмечена для оз. Болотное (ок. Лысенково), что связано с высокой цветностью вод.

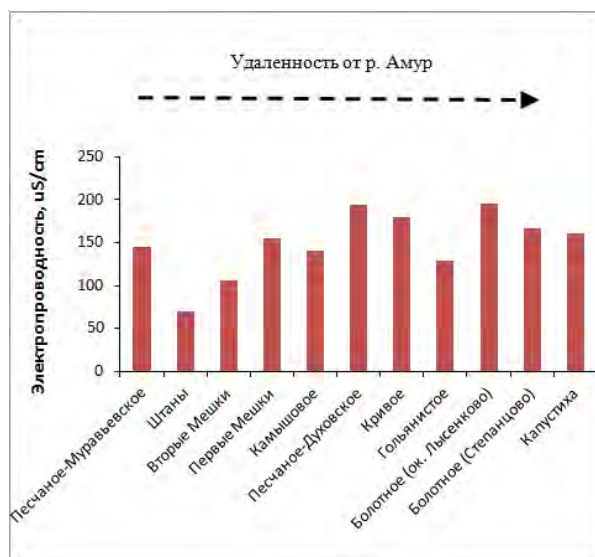


Рис. 3. Изменение электропроводности (при 25°C) изученных озер.

Распределение растворенного кислорода в водоемах отличалось разнообразием. Наиболее частым случаем было уменьшения его концентрации с глубиной. Однако жизнедеятельность различных водных организмов вносила некоторые особенности. В двух водоемах было отмечено увеличение растворенного кислорода на глубине фотического слоя, что вызвано активным фотосинтезом. В оз. Капустиха было отмечено увеличение концентрации с глубиной вплоть до дна (1,5 м).

Обследованные озера можно разделить на три группы, отражающие их эволюцию как старичных водоемов. К первой относится одно озеро – Кривое. Это наиболее ранняя стадия. Водоем еще сообщается с рекой, имеет большие глубины (до 3,5 м), характерную длинную вытянутую форму и менее других подвержен заилению. Вторая группа включает озёра Болотное (Степанцово), Второе Болотное (ок. Лысенково), Капустиха. Это поздняя стадия образования старичного озера. Оно имеет округлую или близкую к ней форму, малые глубины (1,0 – 1,5 м), расположено на значительно заболоченной территории, что может быть результатом зарастания, имеет мощный слой илистых донных осадков. Третья группа содержит все оставшиеся водоемы. Они занимают некую промежуточную позицию. Эти озёра имеют вытянутую форму, илистый донный грунт, наибольшие глубины изменяются от 1,5 до 2,5 м. Для них характерны высокие берега (один – Первые Мешки, Камышовое или оба – Штаны), ориентированные по длине водоемов, вероятно, образующие некогда борта русел рек, и низкие пологие берега с других сторон, представленные пойменными лугами разной степени заболоченности. По мере зарастания озера уменьшают свою площадь, урез отходит от высоких склонов котловины, их берега заболачиваются, покрываются кочками и сплавидами.

При рассмотрении выделенных групп с учетом удаленности озер от р. Амур (рис.4) можно отметить, что вторая группа – это озера периферии, третья занимает различное положение, первая ближе к периферии (но все же для оз. Кривое решающую роль играет его круглогодичное сообщение с р.Аргузиха).



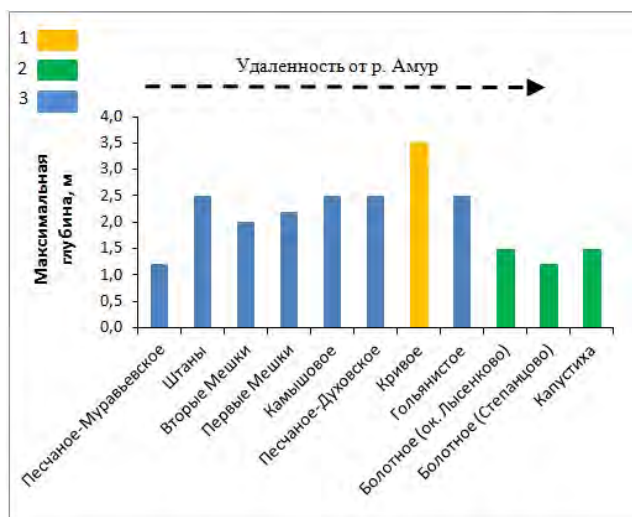


Рис. 4. Выделенные группы озер.

### Список литературы

1. Ахтямов М.Х., Морозова Г.Ю., Болдовский Н.В., Бабурин А.А. Муравьевский парк. Природные условия и растительность // РАН Дальневосточное отделение, Институт водных и экологических проблем, Муравьевский парк устойчивого природопользования, 2002
2. Власова С.Н., Воропаева И.С., Дугина И.О., Дунаева И.М., Ковтун А.В., Крамарева Л.Л., Краснова Е.Д., Лобарев С.А., Мордашева М.В., Никитина О.В., Никулина Т.В., Пакулина А.П., Платонова Т.П., Смиренский С.М., Трутнева Н.В., Щукин И.И. Бассейн реки Гильчин // Муравьевский парк устойчивого природопользования, Московский государственный университет, РАН Дальневосточное отделение; Владивосток: Дальнаука, 2016



**Зависимость состава, количественных характеристик зоопланктона и качества вод в пойменных озерах на территории Муравьевского парка устойчивого природопользования (Амурская область) от их удалённости от р. Амур.**

**Краснова Елена Дмитриевна<sup>1</sup>, Беляев Борис Михайлович<sup>2</sup>,**

**Герасимова Ольга Владимировна<sup>3</sup>, Смиренский Сергей Михайлович<sup>1,4</sup>**

*1 - Биологический факультет Московского государственного университета им.*

*М.В.Ломоносова*

*2 - Географический факультет Московского государственного университета им.*

*М.В.Ломоносова*

*3 - Полярный институт морского хозяйства и океанографии им. Книповича, Мурманск*

*4 - Муравьевский парк устойчивого природопользования (Негосударственная особо используемая природная территория), Амурская область.*

В июне 2016 года по приглашению руководства Муравьевского парка устойчивого природопользования была организована экспедиция в Тамбовский район Амурской области для изучения гидрологических и гидробиологических характеристик озер поймы р. Амур расположенных в черте Парка и в его окрестностях на территории водно-болотных угодий международного значения, определенных в рамках Рамсарской конвенции. Основными задачами работы была инвентаризация водоемов Парка, включая описание их гидрологических и гидробиологических характеристик, оценка состояния водных экосистем, в том числе – определение качества воды методами, принятыми в санитарной гидробиологии, а также выявление закономерностей динамики экосистем пойменных водоемов при уменьшении мощности паводков и, как следствие прекращения регулярных промывок озер, расположенных на периферии речной поймы. На изучаемой территории подобные исследования выполнялись впервые.

На территории Муравьевского парка и в его окрестностях было обследовано семь пойменных озер (таблица 1).

Таблица 1. Обследованные водоемы в пойме р. Амур.

№	Озеро	Высота, м WGS84	Площадь, км <sup>2</sup>	Координаты	Даты обследования
1	Песчаное-Муравьевское	117	0,317	127°42'21,683"E 49°47'41,992"N	02.07.2016
2	Первые Мешки	118	0,045	127°39'55,806"E 49°50'4,169"N	14.06.2016, 26.06.2016
3	Кривое	119	0,346	127°36'13,831"E 49°51'47,831"N	29.06.2016
4	Гольяниха	119	0,005	127°38'6,21"E 49°53'15,606"N	26.06.2016
5	Песчаное-Духовское	119	0,284	127°38'52,872"E 49°55'6,174"N	18.06.2016, 23.06.2016
6	Болотное (Степанцово)	120	0,004	127°41'1,486"E 49°54'51,581"N	12.06.2016
7	Капустиха	123	0,089	127°41'54,833"E 49°52'25,609"N	7.06.2016 - 13.06.2016

Были определены гидрологические характеристики озер: глубина, рельеф дна, температурный, кислородный и световой режим (освещённость на разных глубинах и прозрачность воды по диску Секки), минерализация воды, реакция среды (pH), окислительно-восстановительный потенциал на разных глубинах, особенности вертикальной стратификации. Кроме того, был выполнен комплекс гидробиологических работ, включавший изучение состава фитопланктона, перифитона, зоопланктона и зообентоса. В данной работе мы остановимся на результатах анализа зоопланктона.

В точке с наибольшей глубиной, где были выполнены определения абиотических параметров, отбирали количественную пробу зоопланктона, путем процеживания 100 л поверхностной воды через планктонную сеть Апштейна с газом № 66. Пробы обрабатывали живыми, без фиксации, подсчет организмов производили в камере Богорова. В каждой пробе определяли видовой состав и численность всех видов и вычисляли индекс сапробности по методу Пантгле-Бука (Pantle, Buck, 1955) в модификации Сладечека (1967).

В зоопланктоне изученных водоемов в общей сложности выявлено 18 видов коловраток (Rotatoria), 14 видов ветвистоусых рачков (Cladocera), веслоногие рачки (Cyclopoidea и Calanoidea, видовую принадлежность не определяли) и их личинки-науплии, ракушковые рачки (Ostracoda), водяные клещи (Hydracarina), личинки Chironomidae, а также ногохвостки (Collembola), по всей вероятности смытые в водоем из прибрежной почвы. Число определенных таксонов в каждом водоеме колебалось от 9 до 16, а число идентифицированных видов коловраток и ветвистоусых рачков – от 6 до 12.

Численность зоопланктона варьировала в диапазоне 11-523 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Отмечена зависимость обилия зоопланктона от положения озера в пойме: наибольшие значения численности характерны для водоемов, расположенных ближе к реке, которые, соответственно, чаще заливаются во время паводков, а в периферических озерах численность на 1-2 порядка ниже (рисунок 1).



Рис. 1. Общая численность зоопланктона в исследованных озерах.

Обнаружены различия в составе зоопланктона. По мере удаления от р. Амур в зоопланктонном сообществе уменьшается численность коловраток и возрастает доля ракообразных (рисунок 2).

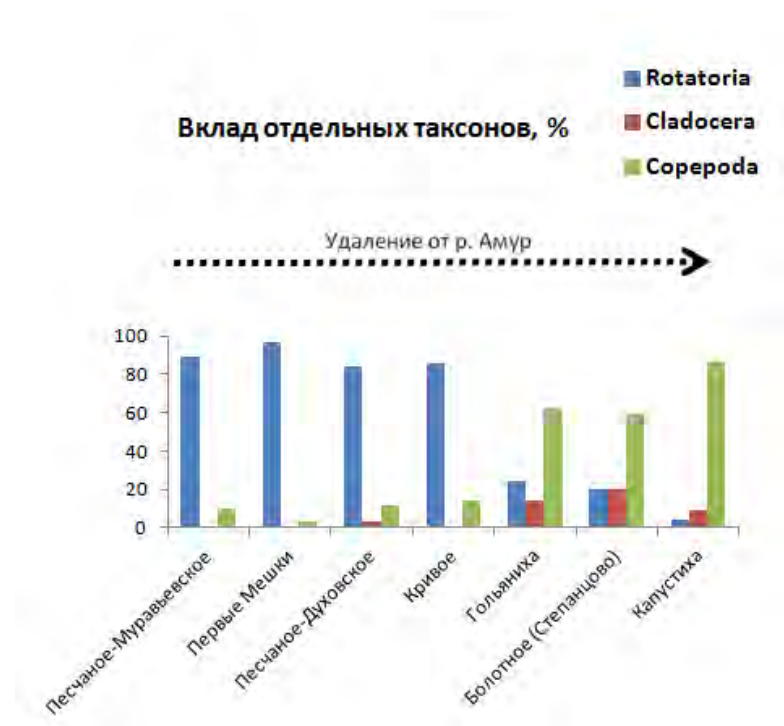


Рис. 2. Вклад разных таксонов в общую численность зоопланктона.

В озерах, расположенных ближе к р. Амур, в таксоцоне коловраток велика роль представителей рода *Brachionus*, особенно – *Brachionus diversicornis diversicornis*, на долю которого может приходиться до 97% численности коловраток и до 82% от общей численности зоопланктона. Как показали предыдущие исследования р. Гильчин и водоемов ее бассейна, *B. diversicornis diversicornis* встречен только в низовьях этой реки, где она контактирует с водами р. Амур (Краснова и др., 2013). В ходе нашей работы в водоемах, расположенных выше отметки 120 м над уровнем моря этот вид не встречен. Таким образом, в данном регионе *B. diversicornis diversicornis* можно рассматривать как индикатор связи водоема с материнским водотоком - р. Амур.

Оценка качества вод в исследуемых водоемах показала, что все они характеризуются относительно хорошим качеством. Все водоемы относятся к чистым или умеренно загрязненным на границе с чистыми (рисунок 3). Интересно, что по мере удаления от р. Амур и ослабления его влияния индекс сапробности уменьшается, то есть качество воды улучшается. По всей вероятности, вместе с паводковыми водами в пойменные озера попадают загрязняющие вещества и большое количество биогенных веществ, которые стимулируют развитие фитопланктона и приводят ко вторичному загрязнению. Абиотические условия в водоемах на периферии поймы отличаются большей прозрачностью и более низкой рН (в среднем  $7,1 \pm 0,4$  против  $8,2 \pm 0,4$  в подверженных частым паводкам водоемах).

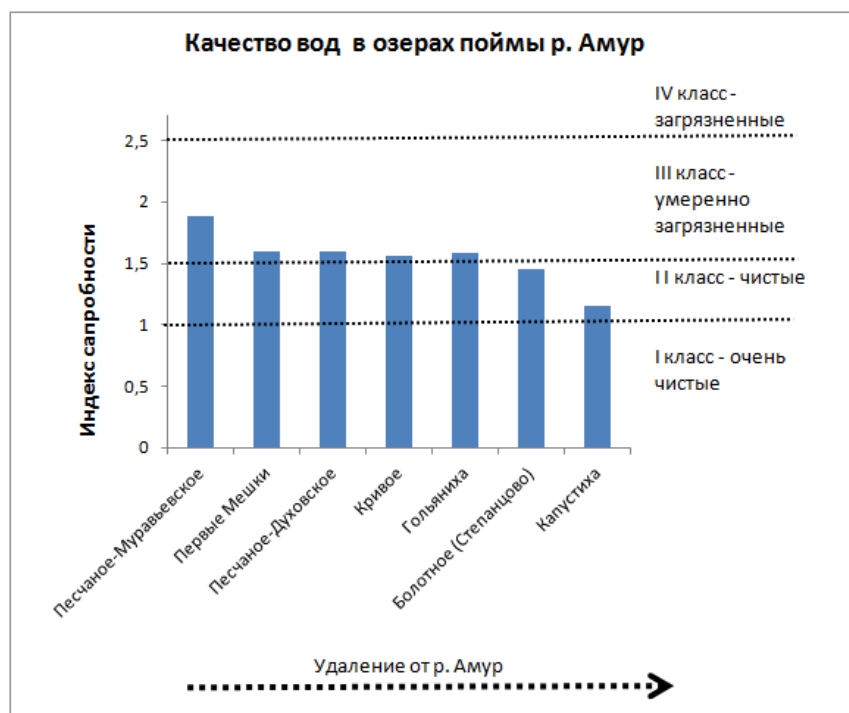


Рис. 3. Качество воды в водоемах поймы р. Амур на территории Муравьевского парка и его окрестностей.

### Список литературы

Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология. – М.: Наука, 1967. С. 26-31.

Краснова Е.Д., Никулина Т.В., Власова С.Н., Мардашова М.В., Смиренский С.М. Оценка санитарно-биологического состояния водоемов бассейна р. Гильчин в июне 2011 г. // Бюллетень Московского о-ва испытателей природы. Отд. биол., 2013. Т. 118. ВЫП. 5. С. 31-39.

Pantle F., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. 1955. Bd 96, 18. 604 S.

## **СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ: ГИДРОЛОГИЯ**

## **Современные характеристики опасных ледовых явлений на реках севера ЕТР.**

**Василенко Александр Николаевич**

*ФГБУВО МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва.*

Географическое положение Российской Федерации обуславливает практически повсеместное распространение ледовых явлений на реках, протекающих по её территории. Формирование ледяного покрова на реках, установление ледостава и вскрытие рек существенно влияют на режим эксплуатации рек и водохозяйственных объектов. Ледовые явления, наблюдающиеся при замерзании и вскрытии рек, способны приводить к чрезвычайным ситуациям, наносящим значительный материальный ущерб и создающим угрозу жизни большого количества людей. Зачастую ущерб от затопления освоенных территорий в период с ледовыми явлениями больше по сравнению с наводнениями в период открытого русла [1]. Для минимизации ущерба от опасных ледовых явлений необходим выпуск прогнозов их характеристик различной заблаговременности.

Прогнозирование же опасных ледовых явлений сопряжено с рядом трудностей. Многие из них многофакторные, требующие учета различных метеорологических и гидрологических характеристик, относящихся к большим площадям и продолжительным промежуткам времени. Помимо этого, характер связи между параметрами часто носит нелинейный характер, а ряды исходных данных нередко имеют малую продолжительность, а в условиях происходящих климатических изменений часто нарушается однородность этих рядов.

Ледовый режим рек является одним из самых чувствительных индикаторов изменений климата [2]. На сегодняшний день необходимо определение количественных и качественных изменений, произошедших на реках хорошо освоенных человеком территорий [4].

Целью данного исследования являлась оценка современных изменений характеристик ледового режима и опасных ледовых явлений на севере ЕТР и разработка новых методов их прогнозирования. Рассматриваемая территория включала Архангельскую область (с Ненецким автономным округом), Вологодскую, Мурманскую область, Республику Карелия, Республику Коми, территории, на которых ледовый режим рек может существенно ограничивать хозяйственную деятельность населения.

Задачами работы являются:

12. изучение гидрометеорологических факторов формирования опасных ледовых явлений и их динамики;
13. оценка пространственно-временной изменчивости характеристик ледовых явлений;
14. исследование возможности прогнозирования максимальных заторных уровней с использованием метода искусственных нейронных сетей.

Актуальность данной работы связана с необходимостью разработок новых методик прогнозирования опасных ледовых явлений в условиях климатических изменений, определения степени и направленности происходящих изменений.

В качестве исходных данных в работе использована информация 60 гидрологических постов на 52 реках и данные 10 метеорологических станций. Основные результаты исследования получены на основе сравнительно-географического и вероятностно-статистического методов, картографических обобщений с использованием ГИС-технологий.

В работе был рассмотрен ледовый режим рек севера ЕТР для периода до начала климатических изменений по различным регионам. Затем был проведен статистический анализ рядов наблюдений по 60 гидрологическим постам, выделены характерные величины

разнообразных ледовых явлений для различных периодов времени. Между собой сравнивались осредненные характеристики за период 1951-1980 гг (период без изменений климата) и за период 1981-2012 (период с климатическими изменениями).

Рассмотрена совокупность опасных ледовых явлений, выделены основные их предикторы, а также рассмотрено влияние этих явлений на население и экономику территорий. Выделены ледовые явления, представляющие наибольшую опасность и способные наносить максимальный ущерб, такие как заторы льда и прохождение высших за год уровней воды в период ледохода.

По итогам работы, установлено, что не смотря на различия (вызванные в первую очередь климатическими и геоморфологическими факторами) от региона к региону, от бассейна к бассейну, для ледового режима рек территории Севера ЕТР характерен ряд схожих черт:

- 1) Продолжительный (до полугода) период ледостава на реках;
- 2) Продолжительные периоды зимних и осенних ледовых явлений;
- 3) Высокая повторяемость опасных ледовых явлений – заторов и зажоров льда;
- 4) Существенные различия в ледовом режиме между участками рек на побережьях морей и участками рек в глубине материков;
- 5) Общая тенденция к увеличению продолжительности ледовых явлений с юго-запада на северо-восток

По итогам проведенной работы определена направленность изменения климатических характеристик зимнего и осеннего периодов в сторону потепления зим (на фоне глобального потепления климата) и увеличения продолжительности осенних периодов, а также связанных с ними изменений в ледовом режиме рек севера ЕТР в сторону сокращения периодов ледостава и ледовых явлений, появлению зимних вскрытий рек, в повторяемости опасных проявлений ледового режима в сторону увеличения их числа. Важной частью работы стало картирование современного ледового режима рек, а также величины изменения его характеристик. Установлены современные пространственные характеристики ледовых явлений.

Установлен, также, ряд количественных и качественных изменениями различных характеристик ледового режима в условиях изменений климата:

1. первые осенние ледовые явления и ледостав происходят в среднем на 4-6 суток позднее на всей исследуемой территории;
2. возрастает в среднем на 1-2 дня продолжительность шугоходов в осенний период;
3. продолжительность ледостава сокращается в среднем на 12-15 суток;
4. окончание ледостава стало наступать на 6-10 дней раньше;
5. в среднем на 5 дней раньше стало происходить вскрытие рек;
6. на большей части территории наблюдается увеличение продолжительности вскрытия рек от 2 дней на западе, до 9 дней на востоке;
7. очищение ото льда происходит раньше в среднем на 5 суток;
8. на территориях Кольского полуострова и Карелии происходит сокращение периода ледохода в среднем на 2 суток, при этом на прочей части исследуемой территории происходит увеличение продолжительности ледохода также в среднем на тот же срок.

Также, в связи с необходимостью разработки новых методов прогнозирования опасных ледовых явлений, было проведено исследование возможности применения метода искусственных нейронных сетей к прогнозированию заторных явлений. Искусственные нейронные сети - это все более часто применяемый метод статистического моделирования,



применяемый для решения большого количества задач из самых разных областей знаний. Это обусловлено тем, что ИНС позволяют одновременно работать с большими объемами различных (экономических, социальных, гидрометеорологических, химических) данных, которые могут обрабатываться одновременно и единообразно. Нейросетевой подход одинаково годится для линейных и сложных нелинейных зависимостей и особенно эффективен при разведочном анализе данных, когда необходимо выяснить, имеются ли вообще зависимости между переменными. Кроме того, нейросетевые методы позволяют идентифицировать существующие связи между переменными и их величины.

Как отмечают [2], применение ИНС к прогнозированию максимальных уровней воды может быть оправдано значительным числом факторов, влияющих на образование затора и формирование максимального уровня воды. Затор льда – сложное и многофакторное опасное гидрологическое явление. Основными прогнозируемыми для заторов льда характеристиками являются: максимальный заторный уровень воды и заторный подъем уровня воды. На образование затора оказывает влияние более 30 различных факторов: гидрологических, метеорологических, механических. Связи между этими предикторами практически всегда нелинейные и достаточно сложные.

Все вычисления, производимые в нейронных сетях, базируются на процессе обучения. Хорошо обученная ИНС способна узнавать различные комбинации предикторов и по опыту формировать прогноз. Это является одним из основных преимуществ ИНС по сравнению с другими методами статистического моделирования.

Для оценки возможности применения ИНС к прогнозированию заторов были обучены и протестированы ИНС, прогнозирующие максимальные заторные уровни и заторные подъемы уровней воды для гидрологического поста «Великий Устюг», одного из наиболее затороопасных пунктов севера ЕТР и всей России.

Выявлена необходимость дальнейшей работы над созданием обученных нейронных сетей для формирования прогнозов высокого качества. Вероятно, потребуется применение более сложных механизмов машинного обучения для повышения качества прогнозов. На данном этапе прогнозы с помощью методики ИНС являются неудовлетворительными, однако возможности поиска взаимосвязей между данными, реализованные в ИНС могут быть применены для совершенствования методов прогнозирования характеристик заторов.

#### **Список литературы**

1. Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. СПб.:Гидрометеоиздат, 2004. 203 с.
2. Darrell D. Massie, Kathleen D. White, Steven F. Daly «Application of neural networks to predict ice jam occurrence» Cold Regions Science and Technology 35 (2002)
3. Prowse Terry D., Beltaos Spyros (2002) - Climatic control of river-ice hydrology: a review – Hydrological Processes – V.16, pp. 805-822 DOI: 10.1002/hyp.369
4. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)

## Реверсивные течения в устьевых областях рек на примере макроприливного эстуария Мезени.

Алексеева Анна Артемовна

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Реверсивное течение в реке – это происходящее периодически или бессистемно перемещение водной массы на некотором участке реки в пределах русла или устья в обратную сторону относительно обычного направления.

Обычно данный термин используется в качестве аналога понятиям «обратное течение» и «противотечение», однако в данной работе определение реверсивного течения предполагает «разворот» потока во всей площади сечения русла.

Участки, на которых образуются реверсивные течения, можно разделить на классы следующим образом:

- I. Приуроченные к устьям рек
  - Ia. Приливно-отливные
  - Ib. Сгонно-нагонные;
- II. Связанные с озером;
- III. В узлах слияния рек;
- IV. В межбассейновых соединениях;
- V. Техногенные;
- VI. Другие.

Ввиду значительного влияния, оказываемого принимающими водоемами на происходящие в устьях процессы, наиболее часто встречаются реверсивные течения первого типа, подразделяемые на приливно-отливные и сгонно-нагонные в зависимости от преобладающего вида воздействия.

Приливно-отливные течения образуются в результате осложнения сопряжения речного потока с водами приемного водоема приливно-отливными колебаниями последнего. Подобные явления характерны для многих устьев рек, а для северных рек они являются одним из важнейших факторов, определяющих динамику вод в устьях.

Характер движения речного потока при возникновении реверсивных течений обладает неустойчивым режимом движения воды. При теоретическом исследовании такого типа движения в качестве основных уравнений следует использовать систему уравнений Сен-Венана в следующем виде:

$$\frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{v|v|}{c^2 R} = I \quad (1)$$

где  $Q = wv$ , а  $w = w(z)$ ;  $v$  - скорость течения реки, осредненная по живому сечению потока;  $t$  – время;  $x$  – расстояние по прямой, направленной вдоль течения потока;  $C$  – коэффициент Шези, связанный с коэффициентом шероховатости по формуле Маннинга  $C = \frac{1}{n} h^{1/6}$ ;  $Q$ - расход воды;  $w$  – площадь живого сечения потока,  $\alpha_0$  и  $\alpha$  - коррективы, учитывающие неравномерность распределения скоростей в поперечном сечении потока.

Так как при различных условиях движения воды члены уравнения неустановившегося движения имеют различную относительную значимость, особый интерес представляет оценка отдельно каждого из них.

Первые два члена уравнения (1) называются инерционными. Многими исследователями [Караушев, 1969; Михайлов, 1971 и др.] доказывалось, что даже при значительных изменениях скорости потока во времени и по длине реки во период прохождения резких паводков, попусков ГЭС или даже половодья доля инерционных членов в сумме составляет не более нескольких процентов, поэтому в подавляющем большинстве случаев ими просто пренебрегают.

Однако в последние годы исследователями все чаще поднимается вопрос о необходимости учета инерционных членов при рассмотрении движения потока [Полонский, 1990 и др.] в определенных условиях. В основном это связано с возрастающим интересом в области изучения динамики потока в устьевых областях рек. Именно в этих водных объектах, комплексное исследование которых стало возможным не так давно, значения локального и конвективного ускорений при приливно-отливных и сгонно-нагонных процессах действительно велики, что иллюстрируется в таблице 1.

Таблица 1. Оценка членов уравнения движения для эстуариев Темзы, Мерси и Хугли для приливных циклов в сизигию [Мак-Доуэлл, 1983].

Эстуарий	$i_f \cdot 10^5$	$I \cdot 10^5$	$i_{vt} \cdot 10^5$	$i_{vx} \cdot 10^5$	$\frac{i_{vx} + i_{vt}}{i_f} \cdot 100\%$
Мерси	4	3	2	0,15	54
Темзы	6	7	4	1,3	88
Хугли	6	14	8	0,4	140

( $i_f$  – уклон трения,  $i_{vx}$  - локальное ускорение,  $i_{vt}$  - конвективное ускорение,  $I$  - уклон водной поверхности)

Из таблицы 1 видно, что доля инерционных членов в сумме или конвективного ускорения в отдельности может быть выше, чем доля уклона трения.

Как видно, в последние годы интерес к изучению устьевых областей рек возрастает, однако натурное определение приливно-отливных расходов воды и оценка изменений распределения скоростей по живому сечению потока и вдоль его продольной оси в устьевых областях рек представляется задачей сложной и трудоемкой, в связи с чем целесообразно использование методов математического моделирования; для них необходимы комплексные гидрометрические измерения, которые тем не менее могут быть довольно разреженными во времени.

С целью оценки применимости одномерных моделей для изучения реверсивных течений в реках моделирование участка, выбранного показательным для темы работы, проводилось в программе Mike 11, разработанной фирмой DHI. В качестве участка для моделирования была выбрана устьевая область реки Мезень.

Устье Мезени является относительно изученным устьем арктической зоны. Оно относится к макроприливному, так как величины приливов в Мезенской губе на входе в эстуарий реки достигают 8-9 м. Режим устья Мезени определяется сочетанием приливно-отливных течений и сгонно-нагонных явлений с режимом самой реки. В Мезенском заливе наблюдаются правильные полусуточные приливы, то есть приливы со средним периодом

около 12 ч 25 мин. На входе в эстуарий волна имеет среднюю высоту 6,2 м; сизигийный прилив в среднем достигает 8,5 м к устью Семжи, находящемуся в 5 км от устья Мезени. Полное затухание приливной волны происходит на расстоянии 70-90 км от устья.

Для моделирования был выбран участок от села Дорогорское до устьевого створа у мыса Рябинов (рис.1). Выбор верхней границы был обусловлен тем, что гидрологический пост, находящийся в Дорогорском, является наиболее удаленным от устьевого створа постом, фиксирующим слабые колебания уровня при сизигийных приливах.

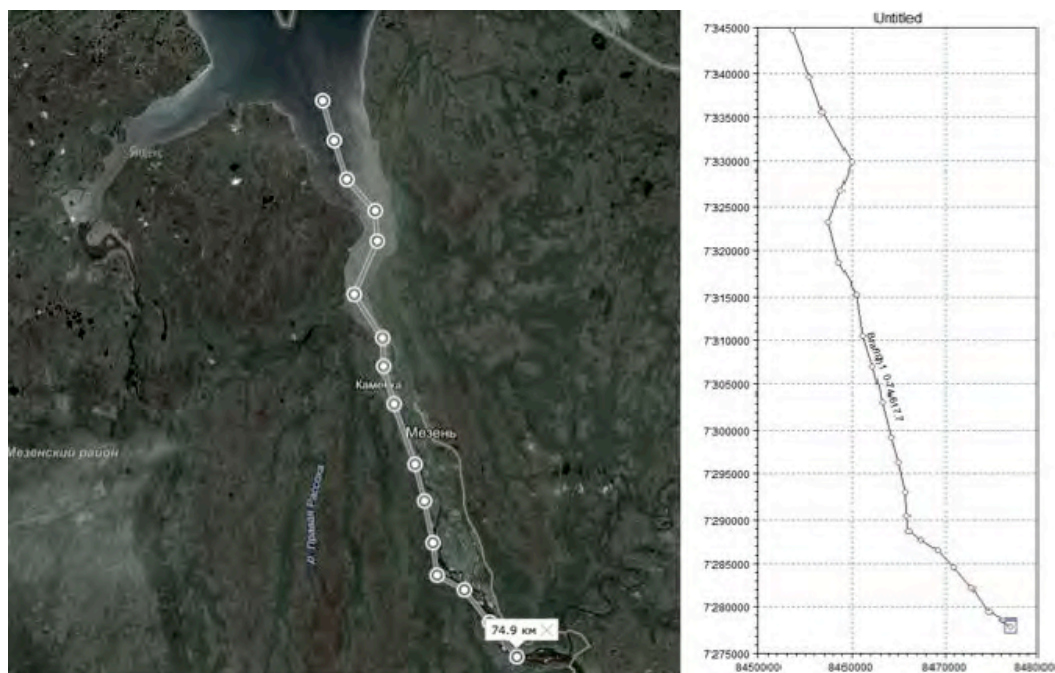


Рис. 1. Участок моделирования на космическом снимке и в проекте Mike 11.

На имеющейся откалиброванной модели макроприливного устья было интересно рассмотреть зависимости дальности распространения приливной волны и реверсивных течений от величины прилива в разные фазы водного режима Мезени. Для этого на верхней границе участка задавались различные характерные расходы воды – зимнего и летне-осеннего межениных периодов, среднегодовой и средний расход месяца спада половодья.

Из рисунка 2 (I) видно, что при увеличении расхода воды, задаваемого на верхней границе участка Дорогорское – м. Рябинов, угол наклона линии зависимости проходимого волной расстояния от величины прилива уменьшается, то есть возрастающее противодействие речного потока затормаживает распространение приливной волны вверх по течению реки.

Аналогично с рядом расчетов, проведенных для различных значений расходов воды, было теоритически рассчитано несколько зависимостей при последовательном увеличении коэффициента Маннинга с шагом 0,01. Результат представлен на рисунке 2 (II).

Кривые зависимостей дальности распространения приливной волны и реверсивных течений в устьевую область Мезени были сопоставлены для каждого из рассматриваемых в ходе анализа расходов, результат чего представлен на рисунке 2 (IIIa-IIIд).

Для каждого из расходов сопоставленные кривые идут практически параллельно, на некотором расстоянии друг от друга, то есть в какой-то момент энергии прилива перестает

быть достаточно для изменения направления реки и далее затухающая волна распространяется вверх еще на некоторое расстояние по причине созданного подпора. Характерно, что при последовательном увеличении величины расхода разрыв между графиками увеличивается вместе с возрастающим противодействием речного потока.

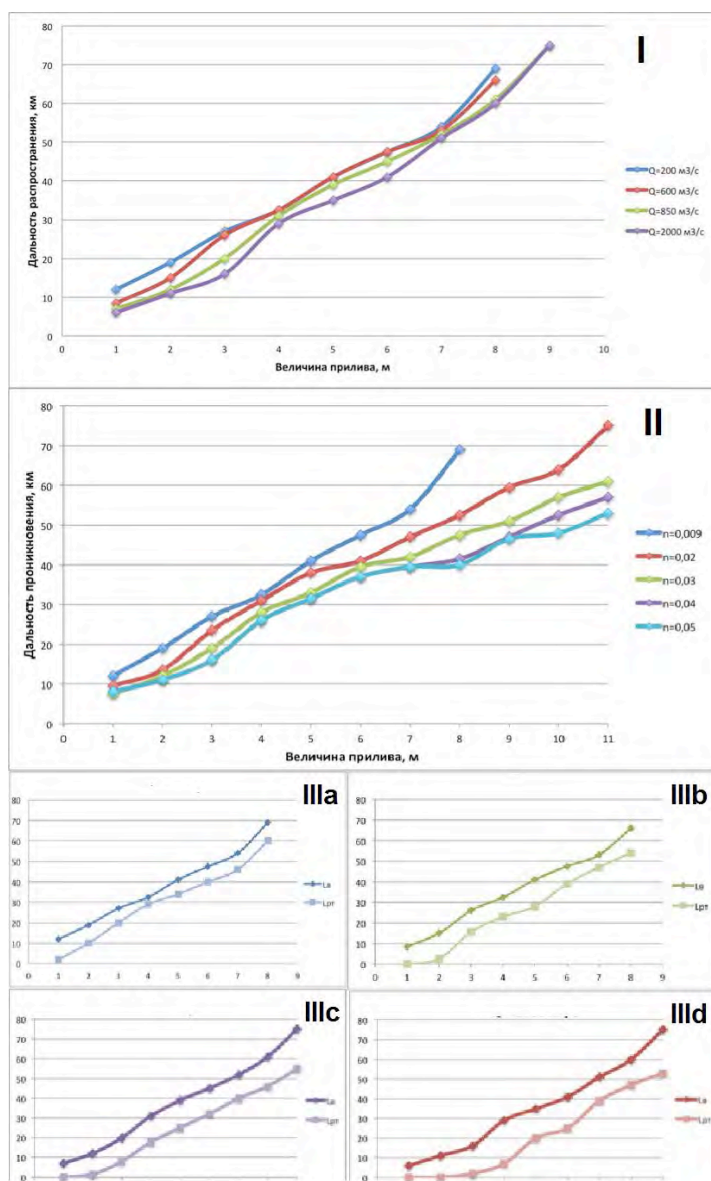


Рис. 2. I. Зависимости дальности распространения приливной волны вверх по течению Мезени от величины прилива при расходах 200, 600, 850 и 2000 м<sup>3</sup>/с; II. Зависимость дальности распространения приливной волны по реке от высоты прилива при n от 0,009 до 0,05; III. Сопоставление дальностей распространения приливной волны и реверсивных течений при расходах 200, 600, 850 и 2000 м<sup>3</sup>/с.

### Список литературы

Демиденко Н.А., Землянов И.В., Горелиц О.В., Михайлов В.Н. Исследование гидролого-морфологических процессов в устьевой области р. Мезени для цели проектирования Мезенской приливной электростанции // Труды ГОИН, 2008, Вып.211.

Мак-Джуэлл Д.М., О'Коннор Б.А. Гидравлика приливных устьев рек // М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.

Михайлов В.Н., Рогов М.М., Чистяков А.А. Речные дельты (гидролого-морфологические процессы). // М.: Гидрометиздат, 1986. 280 с.

Полонский В.Ф., Горелиц О.В. Количественная оценка изменений структуры речного потока в приливном устье реки // Труды V Всероссийского гидрологического съезда, 1990. Том 9. С.189-195

## **Автоматизированное расчленение гидрографа для оценки вклада паводочной составляющей в сток рек ЕТР.**

**Езерова Н.Н., Киреева М.Б.**

*МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва*

В гидрологической практике расчленение гидрографа, необходимое для решения требующих расчётов задач, до сих пор осуществляется вручную. Это доставляет ряд неудобств, в первую очередь, связанных с неприемлимыми по времени и усилиям затратами. Практическая цель данной работы – это автоматизация расчленения, которая во многом упрощает анализ и дальнейшие расчёты. Работа выполняется при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60080 мол\_a\_дк (2016-2018).

За рубежом были созданы и активно используются программы по отделению грунтовой составляющей, такие как WHAT, HYSEP, BFI+, однако они не вполне удовлетворяют нашим требованиям. Эти программы базируются на ГИС-технологиях, поскольку через них они имеют доступ к национальным централизованным гидрометеорологическим ресурсам. В этом их преимущество. Главная причина, почему мы не можем их задействовать, заключается в том, что принципы, по которым вышеупомянутые программы расчленяют гидрограф, не подходят под наш водный режим, и разрабатывая программу GrWat, мы можем лишь адаптировать существующие алгоритмы под условия наличия весеннего половодья.

Основной интерес в этой работе представляет отделение именно паводочной составляющей, поскольку главная цель – оценка вклада паводков в годовой сток. В основе работы – GrWat – программа на языке фортран по отделению грунтовой составляющей по методике расчленения гидрографов Б.И. Куделина (1970), алгоритм которой предполагается максимально адаптировать для корректного выделения половодья и паводков. Программа GrWat делит суточные расходы воды на водохозяйственные года (от начала половодья этого календарного года до начала половодья следующего календарного года). Она состоит из нескольких блоков. В общем случае – это ввод переменных и калибруемых параметров, открытие каналов, ввод данных; далее следуют четыре цикла, которые включают в себя выделение водохозяйственного года; отделение половодья, грунтовой части и паводков. В трёх подпрограммах производится расчёт характеристик для периодов летне-осенней и зимней межени и минимальных  $n$ -суточных расходов. Для каждого водохозяйственного года считаются различные характеристики стока, такие как среднегодовой и максимальный расходы воды, даты начала половодья и наступления максимальных расходов воды, различные характеристики минимального и паводочного стока и главное – подземную составляющую речного стока. Входным файлом для GrWat служит ряд среднесуточных расходов воды. Причём, файл начинается с 1 значения грунтовой составляющей перед самым началом половодья первого года в ряду наблюдений и заканчивается на последнем дне перед началом половодья последнего года наблюдений. Все года и дни идут друг за другом. Важной частью программы является то, что в её алгоритме учтены возможные пропуски в наблюдениях и ошибки, допущенные при сборе данных. Результатами работы программы являются два файла – значения грунтовой составляющей и рассчитанные характеристики стока (на весь период наблюдений для каждого створа). Таким образом, результаты – это гидрографы с разделением, по которым можно судить о корректности работы программы, и



осуществлённый, исходя из изменений объёмов и расходов половодья и паводков и других характеристик, анализ вклада паводочного стока в годовой.

Всё это – расчленение и расчёты – возможно благодаря заложенным в программу 12-ти калибруемым параметрам, которые прописаны в самом её начале (таблица 1).

Таблица 1. Калибруемые параметры в программе GrWat.

Название параметра	Условия, которые задает параметр
моме	месяц, с которого начинается зимняя межень
grad	интенсивность спада или подъёма Q за счёт грунтовой составляющей, выраженная в долях от расхода предшествующего дня после спада
grad1	интенсивность спада или подъёма Q на спаде половодья за счёт грунтовой составляющей, выраженная в долях от расхода предшествующего дня
kdQgr1	тах допустимое повышение грунтовой составляющей по сравнению с начальным значением (уже после спада половодья)
polmon(1)	самый ранний месяц, когда может наблюдаться начало половодья
polmon(2)	самый поздний месяц, когда может наблюдаться начало половодья
polkol(1)	количество дней с начала половодья с устойчивым увеличением в среднем установленному градиенту polgrad(1)
polkol(2)	количество дней с начала половодья с устойчивым увеличением в среднем на $\geq 0$ %
polkol(3)	количество дней с начала половодья, за которое проходит основная волна половодья
polgrad(1)	значения градиента устойчивого увеличения расхода в начале половодья
polgrad(2)	во сколько раз средний расход воды за половодье polkol(3) гарантированно превышает предшествующий половодью меженный уровень
prodspada	количество дней с даты максимального расхода действия grad, после этого переходит на grad1

Результат работы программы во многом зависит от того, насколько правильно удалось подобрать эти параметры. Калибровка их производится следующим образом: сначала изменяется то, что объективно известно (это самый ранний и самый поздний месяц, когда может начинаться половодье, номер месяца, когда начинается зимняя межень); затем строятся несколько гидрографов, на основе чего предварительно задаётся polkol(1), (2) и (3); проверяется, насколько адекватно определяется начало половодья и проводится расчленение по Куделину и если обнаружена неточность, то калибруются остальные параметры. Самые основные для Куделина – это grad. Для половодья все параметры одинаково важны, все они имеют «физический смысл» и их можно определить, построив несколько типовых гидрографов по ряду наблюдений.

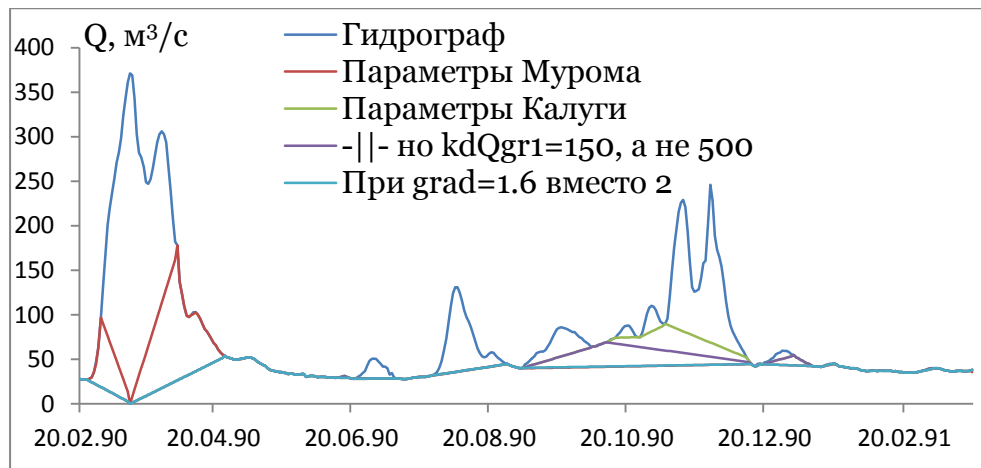


Рис. 1. Выделение грунтовой составляющей при различных параметрах на Мокша – Темников в 1990/91 в/х году.

На рисунке 1 приведён пример работы программы – расчленение гидрографа в створе Мокша – Темников при различно заданных калибруемых параметрах.

В дальнейшем планируется создать автоматизированную технологию по подбору калибровочных параметров для расчленения гидрографа. Основной идеей чего является зонирование используемых в алгоритме величин по Европейской территории России с построением обобщенных карт. По этим картам, используя координаты центра водосбора и его площадь, можно будет определить ориентировочный диапазон изменения калибруемых параметров, что значительно упростит задачу верификации. Для реализации этого на одном из этапов работы был проведён анализ чувствительности параметров (таблица 7) и попытка общения параметров для некоторых крупных районов ЕТР.

Таблица 7. Чувствительность параметров на Мокша – Темников.

grad	2
grad1	3.4 – 3.5
kdQgr1	400 – 500
polmon(1)	2
polmon(2)	5
polkol(1)	8
polkol(2)	10-20
polkol(3)	25-40
polgrad(1)	9-10
polgrad(2)	1.2-1.6

Для каждого параметра были отмечены некоторые особенности. Так, например, было выявлено, что самые чувствительные – параметры grad и grad1. Достаточно изменения grad1 на 0.1–0.2, чтобы окончание половодья выделялось иначе. Параметр grad более стабилен – понижение и повышение грунтовой составляющей происходит при изменении (соответственно уменьшении и увеличении) его на 0.4–0.5. Это особенно заметно на относительно небольших водосборах, и если в течение всего периода наблюдений имеются ярко выраженные паводочные периоды. Параметры polkol(1),(2),(3) достаточно стабильны, не очень чувствительны к изменениям по сравнению с остальными: polkol(1)=8–10–15; polkol(2)=10 – 20; для polkol(3) характерны более широкие диапазоны, он меняется от 30-45

до 50-60, поскольку иногда необходимо задать заведомо гораздо большее значение, чем оно есть на самом деле. В ходе анализа были выявлены ошибки в работе программы при калибровке, а также был сделан вывод о важности сочетания изменения группы параметров, а не какого-либо одного, поставлен вопрос о введении новых калибруемых параметров, которые бы повысили точность расчленения.

В качестве оценки работы программы важно отметить, что при параметрах, заданных за период в 70 лет для каждого бассейна ЕТР она качественно отделяет грунтовую составляющую, даже несмотря на изменения водного режима, произошедшие на рубеже 70-х и 80-х годов XX-го столетия. Но поскольку начиная с конца 1970-х, участились паводки в летне-осеннюю межень, а особенно паводки на спаде половодья, программа не всегда корректно стала отделять грунтовую составляющую. Возникли сложности с заданием единых параметров, отвечающих за расчленение гидрографа за каждый год. В связи с этим – так как анализ паводочного стока в работе наиболее важен среди прочих характеристик водного режима – потребовалось уточнение и доработка методики – соответственно, программы, так как автоматизация обработки данных упрощает и ускоряет проведение последующего анализа. Для этого было принято решение об использовании кривых спада и метеорологической информации по осадкам и температуре – реанализа «Daily NOAA-CIRES 20th Century Reanalysis V2».

На данный момент подробный анализ проведён для 16 бассейнов разных районов ЕТР – Северной Двины, Камы, Волги, Оки, Дона – с длительностью наблюдений каждого по 68–78 лет. Была проведена статистическая обработка данных, по результатам которой уже был сделан ряд выводов. Практически повсеместно отмечается увеличение роли паводочного стока, особенно ярко выраженное на юге региона: от 41 % в бассейне Вятки до 150 % в бассейне Дона (по объёму летних паводков). На севере обратные тенденции, которые, впрочем, нашли отражение в стоке не всех территорий: так, например, в бассейне Северной Двины наблюдается увеличение паводков, а для бассейна Сухоны, лежащего в верховьях бассейна Северной Двины, наоборот характерно уменьшение; то есть можно говорить о том, что в верховьях этого крупного бассейна северного региона паводочная составляющая начала возрастать, но этот процесс пока не достиг низовий.

**Весенний гидрохимический режим притоков Можайского водохранилища.**  
**Ерина Оксана Николаевна, Соколов Дмитрий Игоревич,**  
**Ликарь Элина-Лидия Дмитриевна, Аракельянц Андрей Дмитриевич**  
*Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова*

Период весеннего половодья является важнейшим в жизни водохранилищ умеренных широт, так как именно в это время происходит их наполнение. При этом показано, что с речными водами в половодье может поступать половина и более от суммарного годового притока органических и биогенных веществ, а также взвесей и др. (Соколов, 2013). Количество поступающих весной биогенных веществ, в особенности фосфора, во многом определяет биологическую продуктивность водоема в том или ином году. Поэтому химический состав речных вод в весенний период во многом будет определять качество воды в водохранилище. При этом характер изменчивости чрезвычайно различается от показателя к показателю, а связь гидрохимических параметров с гидрологическими сложна и часто неоднозначна.

Объектом настоящего исследования стали основные притоки Можайского водохранилища (55°35' с.ш., 35°50' в.д.), самого крупного водоема Москворецкого источника водоснабжения г. Москвы – реки Москва, Лусьянка, Колочь, дающие более 83% притока воды в водохранилище.

Материалами для изучения характера гидрохимического режима речных вод в весенний период послужили данные детальных наблюдений в марте–мае 2016 г. На реках отбирали пробы воды ежедневно во время прохождения основной волны половодья и каждые 3–4 дня на спаде. В химической лаборатории Красновидовской учебно-научной базы географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова определяли щелочность воды, содержание кремния, а также различных форм фосфора в фильтрованных (через мембрану 0,45 мкм) и нефилтрованных пробах. За период весеннего половодья было отобрано и проанализировано более 100 проб воды.

Особенностью весеннего периода 2016 года с точки зрения формирования талого стока с водосборной территории рассматриваемых рек стала оттепель за 2 недели до начала половодья. Вследствие этой оттепели запасы воды в снежном покрове на водосборной территории значительно истощились, что обусловило низкие максимальные расходы и уровни, наблюдавшиеся в реках непосредственно во время половодья. Само весеннее половодье характеризовалось несколькими пиками (рис.1), что было вызвано похолоданием в период с 3 по 8 апреля, приведшим к замедлению таяния и, как следствие, поступления талых вод в реки.

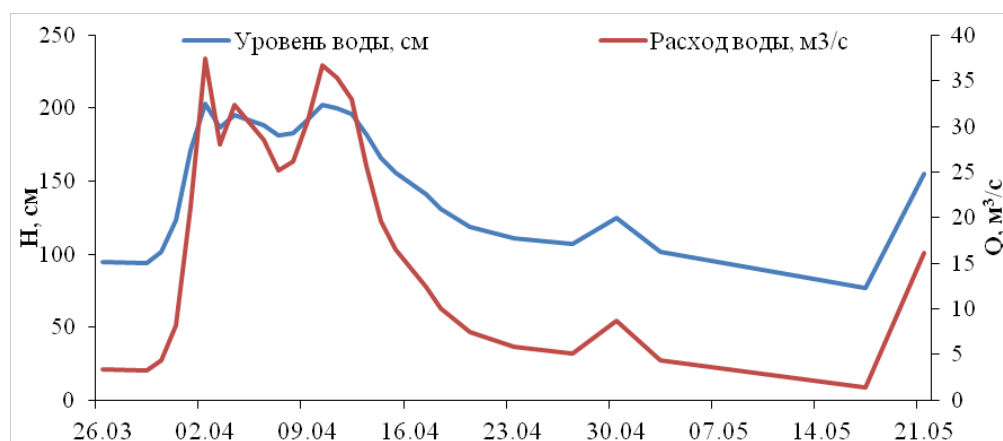


Рис. 1. Уровни и расходы в р. Москве в районе д. Барсуки весной 2016 года.

Перед началом половодья речные воды характеризовались высоким содержанием гидрокарбонатов (240-300 мг/л), обусловленным преобладанием грунтовых вод в питании; содержание фосфора составляло 70-90 мкг/л, при этом отношение минерального фосфора к валовому было близко к единице и отмечалось преобладание растворенных форм (до 80%). Содержание минерального кремния достигало 4 мг/л.

На подъеме половодья значения щёлочности резко снижались, что было вызвано поступлением в реки маломинерализованных талых вод. Содержание минерального фосфора в речных водах в данный период, напротив, резко возрастало и достигло максимума во время первого пика половодья, когда вынос соединений фосфора с водосбора был наиболее интенсивен. Максимальными концентрациями фосфора характеризовались воды р.Лусянки (более 600 мкг/л валового фосфора ( $P_{\text{ВАЛ}}$ ) в нефильтрованных пробах), а минимальными – воды р. Москвы (максимальная обнаруженная концентрация  $P_{\text{ВАЛ}}$  в 2,5 раза ниже, чем в р. Лусянке).

Содержание кремния на пике половодья достигло минимальных значений (2 мг/л, что в 2 раза ниже, чем в начале половодья). При этом кремний обнаруживался в растворенной форме, тогда как половина от содержащегося в воде минерального фосфора присутствовала в форме взвеси. Что касается отношения минерального фосфора ( $P_{\text{МИН}}$ ) к валовому, в нефильтрованных пробах на пике половодья оно достигало 0,5, тогда как в фильтрованных практически весь фосфор являлся минеральным.

После прохождения первого пика половодья наблюдалось постепенное уменьшение содержания фосфора в речных водах, несмотря на второй пик половодья. Минимальные значения  $R_{\text{вал}}$  в р.Москве составляют 60 мкг/л, 93 мкг/л в р.Лусянке и 148 мкг/л в р.Колочье. Последующие экстремумы обусловлены смывом фосфора с водосборного бассейна при прохождении дождевых паводков, максимальные значения весеннего половодья при этом не превышаются. При этом на спаде половодья отношение  $R_{\text{мин}}$  к  $R_{\text{вал}}$  достигает 0,8, а при прохождении паводков вновь уменьшается. Примерно такое же соотношение  $R_{\text{вал}}$  в фильтрованных и нефильтрованных пробах.

Величина щелочности воды изменялась обратно пропорционально колебаниям расходов воды в течение всего весеннего периода. Так, на спаде половодья при прохождении дождевых паводков отмечалось снижение щелочности, а при снижении расходов воды (и увеличении доли грунтовых вод в питании рек) – рост её значений. Содержание кремния в целом также изменяется обратно пропорционально расходам воды и на спаде половодья увеличивается до 3 мг/л.

Для части показателей получены количественные связи с колебаниями уровня и расхода воды в реках, характеризующиеся значимыми коэффициентами корреляции. Так, например, была получена связь величины щелочности с расходом воды для каждого из рассмотренных притоков (рис. 2). Степенной характер связи совпадает с результатами, полученными по учащенным наблюдениям 1984 года, что позволяет сделать вывод о устойчивости этой связи из года в год. Формы графиков связи содержания фосфора с расходом воды отличаются от полученных для 1984 года (Моделирование, 1995).

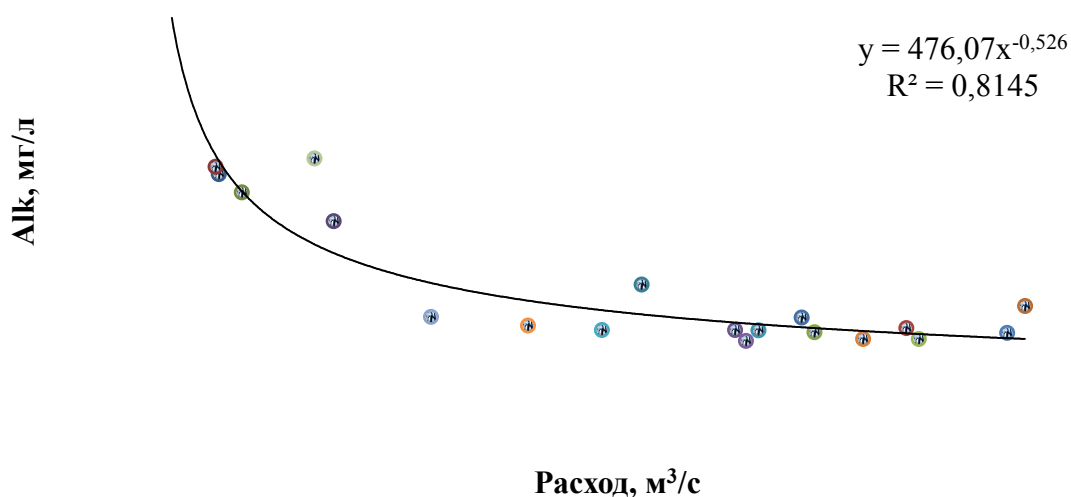


Рис. 2. Связь величины общей щелочности с расходом воды в р. Москве в районе д. Барсуки весной 2016 года.

Полученные результаты являются важным шагом на пути к параметризации параметров химического состава речных вод в зависимости от гидрологических показателей и в дальнейшем могут быть использованы для задания входных данных при гидроэкологическом моделировании.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-35-00199 мол\_а).

#### Список литературы

1. Соколов Д.И. Изменение окисляемости и цветности воды под влиянием водохранилища // Вестник МГУ. Сер. 5: География. 2013. № 6. С. 9–15.
2. Моделирование режима фосфора в долинном водохранилище. М.: Изд-во МГУ, 1995. 79 с.

## Исследования влияния горнодобывающей деятельности на качество вод нерестовой реки на примере р. Лангери (о. Сахалин).

Ефимов Василий Антонович, Летникова Вероника Николаевна,

Цыплёнок Анатолий Сергеевич

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва

Бассейн р. Лангери (длина 101 км, площадь бассейна 1350 км<sup>2</sup>) расположен в Восточно-Сахалинских горах (рисунок 1). Река впадает в Охотское море. Вследствие прохождения циклонов в летне-осенний период, наибольшее количество осадков выпадает в августе-сентябре. Среднегодовое количество осадков составляет около 800 мм/г. Река является важнейшим местом нереста Восточно-Сахалинской популяции тихоокеанского лосося. На нерест заходят горбуша и нерка. Встречается сахалинский таймень - крупнейший представитель семейства лососёвых рыб.

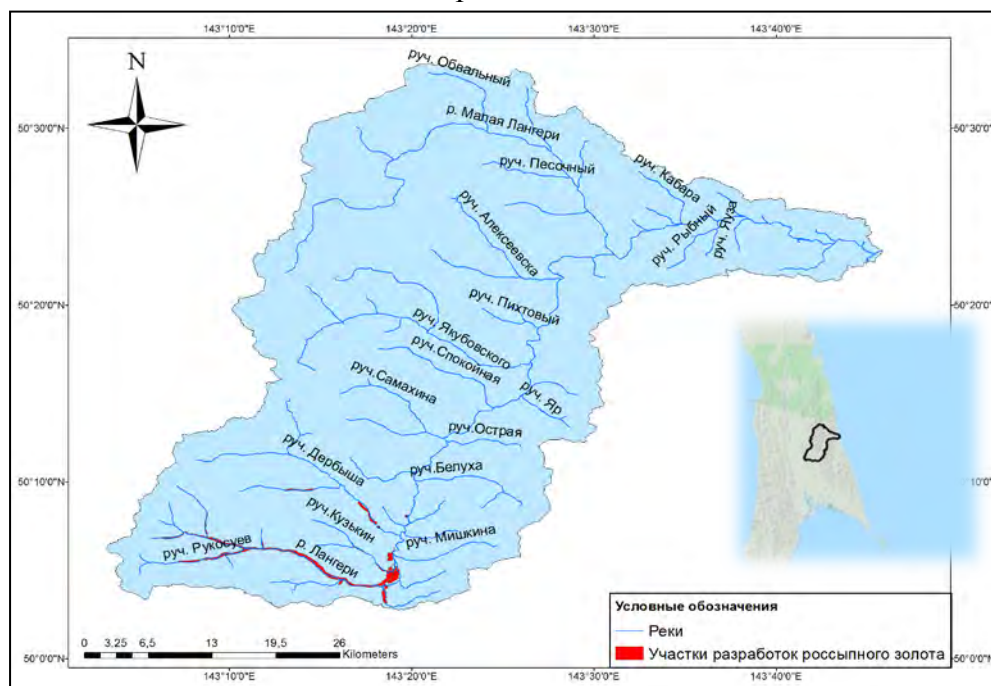


Рис. 1. Бассейн р. Лангери и расположение участков разработок россыпного золота.

В бассейне реки Лангери с 1937 производится разработка россыпных месторождений золота. За период с 1987 по 2011 год территория разработок в верховьях реки увеличилась в 2 раза. По данным августа 2015г их площадь составила около 11 км<sup>2</sup>. В настоящее время территория разработки представляет собой лишенную растительности наклонную поверхность, преимущественно расчлененную двумя или тремя системами водотоков (руслоотводными каналами по бортам и основным руслом в центре полигона). В пределах нарушенной территории сформирована сеть водоемов, образованных в пределах заброшенных карьеров, и соединяющих их водотоков разного размера. Основным морфологическим элементом дна долины являются заброшенные разровненные отвалы грунта конусообразного типа, в фронтальной части подвергающиеся интенсивной эрозии водотоками дна долины. В результате нарушаются нерестовые участки русла реки и притоков, а продукты эрозии склонов и переработки породы попадают в водотоки и препятствуют проникновению рыбы в верховья бассейна.



Для изучения качества воды в р. Лангери была организована совместная экспедиция сотрудников кафедры гидрологии суши и ВНИИРО. Она проходила с 1 по 10 июня и с 10 по 27 августа 2015 г. Кроме того было организовано несколько постов, оборудованных самописцами, функционировавших в течении лета 2015 г.

Целями экспедиции являлись: гидрологический мониторинг состояния реки и оценка влияния золотодобычи на речную экосистему. В задачи экспедиции входило получение информации о морфометрических характеристиках участков реки и её притоков, гидрологическая съёмка участков реки, гидрохимические исследования, исследования мутности воды и химического состава наносов, гидробиологические исследования и изучение пойменных отложений.

Исследования проводились в периоды половодья и летней межени. Были измерены расходы, температура и электропроводность воды на 52 репрезентативных участках, отобрано 38 проб воды для определения химического состава, 23 пробы воды для определения растворённого в воде кислорода, 27 проб воды для определения концентрации биогенных элементов и 26 проб взвешенных наносов. На двух репрезентативных участках были взяты колонки пойменных отложений (глубина 1м) для анализа эпюр вертикального распределения изотопа цезия - 137, который позволил охарактеризовать особенности накопления наносов.

Во время экспедиции было организован опорный гидрологический пост в среднем течении р. Лангери ниже участка разработок. По результатам измерений расходов воды, для него была составлена кривая зависимости уровней от расходов воды. В половодье расход составил  $50,1 \text{ м}^3/\text{с}$ , в межень  $1,78 \text{ м}^3/\text{с}$ . С этими показателями в значительной мере связано количество транспортируемого рекой взвешенного материала. Мутность воды в створе изменяются от 45 до  $250 \text{ мг/л}$  (рисунок 2).

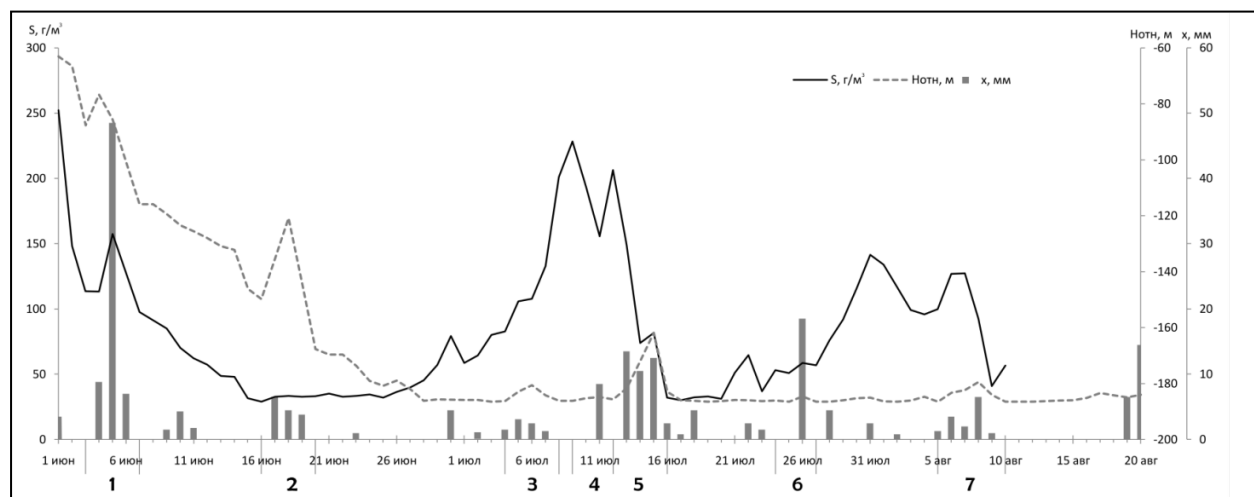


Рис. 2. Комплексный график хода осадков  $x$  (пос. Первомайский), мутности  $S$  и расхода воды  $Q$  на г/п р. Лангери в июне-августе 2015 года.

Влияние шлейфа мутности прослеживается на протяжении 17 км ниже участка разработок. Максимальный меженный расход в устье составил  $14,4 \text{ м}^3/\text{с}$ . В среднем по бассейну реки мутность воды меняется от 1 до  $79 \text{ мг/л}$ . Анализ эпюр вертикального распределения изотопа цезия-137 позволяет охарактеризовать особенности накопления аллювия на различных участках течения р. Лангери. Наиболее высокие темпы аккумуляции

наблюдались в 1958-1963гг. Среднегодовые темпы аккумуляции составляют  $2,3 \pm 0,6$  мм/год. Основной источник поступления материала - поверхностный смыв с территории водосбора и поступление мелких фракций при промывке породы промприбором. Наибольшая концентрация взвешенных частиц в отобранных пробах воды приходится на глинистую фракцию с размерами частиц 0,005-0,1мм.

Минерализация воды в бассейне изменяется с 58 до 137 мкСм/см. Воды хорошо аэрированы, содержание растворённого кислорода по длине варьирует незначительно (7-10 мг/л), а различия связаны со строением русла и изменениями температуры. Хорошая аэрация обеспечивается бурным течением вод реки и отсутствием значимых сбросов ПАУ или нефтепродуктов в бассейне.

Измерения показали значительные различия температуры воды в нарушенных и ненарушенных участках русла. Разница между температурой воды в русле р. Лангери ( $22,3^{\circ}\text{C}$ ) и ее руслоотводе составила  $7,3^{\circ}\text{C}$ , максимальная измеренная температура в русле реки в районе разработок достигала  $23^{\circ}\text{C}$ . Это препятствует нересту рыбы в верховьях реки, так как критической для неё является температура  $17^{\circ}\text{C}$ . Температура в ручьях-притоках реки составляет около  $8-11^{\circ}\text{C}$ , и является оптимальной для нереста и развития молоди рыб.

Важной задачей исследования было определение разных форм фосфора в водах реки (рисунок 3). Отбор проб проходил в период нереста лососёвых и частично в период снёнки. Это позволяет качественно оценить интенсивность нереста по данным о концентрации фосфора на различных участках реки. Полученные данные показывают значительные различия содержания валового фосфора в ручьях нижнего течения реки (159 мкг/л), где происходит гибель рыбы и её разложение и ее верхнего течения выше участка разработок (21 мкг/л), куда лосось практически не заходит. Важно отметить, что концентрации фосфора высоки в районе самих разработок вследствие его поступления из техногенных илов (Р вал. достигает 159 мкг/л; Р мин - 59мкг/л).

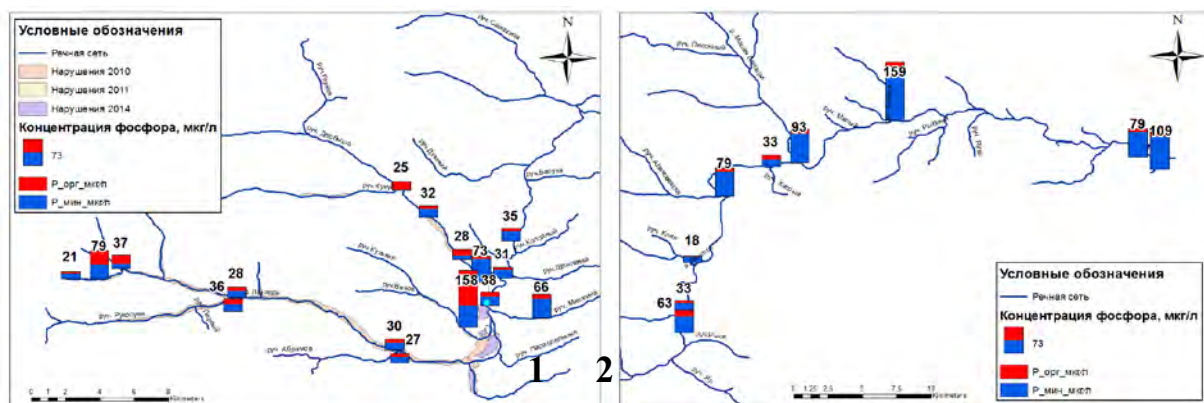


Рис.3. Концентрации органической и минеральной форм фосфора в точках пробоотбора в верхнем(1) и в нижнем(2) течении р. Лангери.

В результате экспедиции в бассейне впервые были проведены подробные гидрологические и гидробиологические исследования. Получены данные о расходах водвы и транспорте наносов различной крупности в периоды половодья и летней межени. Наиболее значительные объёмы поступления мелких глинистых фракций связаны со сбросами из илоотстойников. Подобные сбросы во время нереста или во время выхода малька приводят к заболеваниям рыбы. Были проведены исследования концентраций биогенных элементов,

показывающие интенсивность биологических процессов в разных частях бассейна и объём приноса морских биогенов в речную систему. Отмечены аномалии концентрации фосфора, связанные с разложением снёлки или поступлением фосфора из техногенных илов. Отмечены температурные аномалии в водотоках бассейна, определены причины и распространение температурного загрязнения в бассейне. Все эти данные позволили выработать рекомендации по рекультивации нарушенных разработками участков водосбора куда будет входить создание искусственных заломов и излучен в старом русле реки, рекультивация отвалов по бортам долины реки, постепенный спуск выработанных илоотстойников с последующим укреплением их дна грунтоудерживающей растительностью, уменьшение сбросов и реконструкция системы отстойников золотодобывающего предприятия.

## Оценка применимости модели SNOW-17 для расчёта характеристик снежного покрова бассейнов рек европейской территории России.

Ликарь Элина-Лидия Дмитриевна

МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва

SNOW-17 – индексная модель, реализацией которой является программа, написанная на языке программирования Fortran. Она успешно используется Национальной Службой Погоды США для прогноза стока талых вод. Особенность модели заключается в том, что в качестве входных параметров ей необходимы только ряды значений температуры воздуха и количества выпавших осадков, а остальные параметры зависят от характеристик водосбора.

Модель использует температуру воздуха в качестве солярного индекса для определения энергетического обмена на поверхности раздела снежного покрова и атмосферы. Многие исследования доказали, что температура воздуха – хороший индикатор таяния. Кроме того, по сравнению с другими метеорологическими величинами, которые могут влиять на энергетический баланс, пространственное распределение температуры воздуха достаточно легко оценить. Значительным преимуществом использования температуры в качестве индикатора таяния также является относительная простота её прогнозирования.

Несмотря на то, что температура в значительной степени зависит от характера подстилающей поверхности и экспозиции, фактор, который обуславливает наибольшую изменчивость температуры на территории, – это абсолютная высота точки. Возможность экстраполировать данные о температуре воздуха по высоте является критически важной для моделирования снежного покрова, поскольку во многих районах, особенно горных, большая часть стока талых вод поступает из областей, который располагаются намного выше пунктов измерений. На равнинных территориях модель применима к крупным водосборам, которые могут также быть разбиты на более мелкие. В горных районах из-за значительной неравномерности распределения снега и времени его таяния, водоразделы обычно делятся на 2 или 3 высотные зоны.

Модель была разработана, в первую очередь, для прогноза стока рек. Это означает, что модель должна использовать данные, доступные в каждом пункте наблюдений: к ним относятся и исторические ряды наблюдений за температурой и осадками для калибровки модели, и данные, доступные в режиме реального времени для оперативного прогноза.

В основе модели лежит уравнение теплового баланса снежного покрова:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{кв}} + Q_{\text{дв}} + Q_{\text{атм}} + Q_{\text{скр}} + Q_{\text{поч}} + Q_{\text{дождь}} \pm \Delta Q,$$

Где  $Q_{\Sigma}$  – количество теплоты, переданное снежному покрову, а слагаемые в правой части уравнения характеризуют источники теплоты:  $Q_{\text{кв}}$  – коротковолновая радиация,  $Q_{\text{дв}}$  – длинноволновая радиация,  $Q_{\text{атм}}$  – турбулентный теплообмен с атмосферой и конвекция,  $Q_{\text{скр}}$  – скрытая теплота,  $Q_{\text{поч}}$  – теплообмен с грунтом,  $Q_{\text{дождь}}$  – теплота дождя,  $\Delta Q$  – фазовые переходы.

Для оценки применимости модели SNOW-17 для бассейнов рек Европейской территории России необходима калибровка. На основе данных метеорологических ежегодников о температуре воздуха и осадках и материалов гидрометеорологических наблюдений на полевых и лесных парных водосборах, включающих в себя ряды наблюдений за такими показателями, как плотность, глубина и водный эквивалент снега, было проведено сравнение результатов снегомерной съёмки и расчета программы.

В качестве рассматриваемых водосборов были выбраны небольшие парные водосборы Верхневолжского УГМС, чьи площади достигают первых квадратных километров, и лесная и полевая часть водосбора реки Протвы.

Результаты моделирования для водосбора реки Протвы представлены на рисунках 1-4.

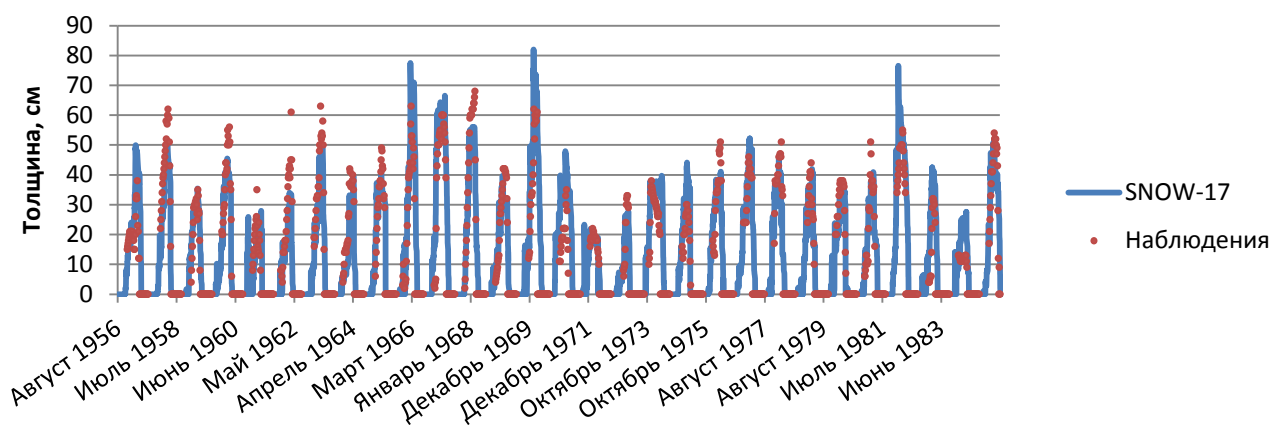


Рис. 1. Сравнение результатов моделирования снежного покрова и данных снегомерных маршрутов для лесной части водосбора р. Протвы в период с 1956 по 1985 гг.

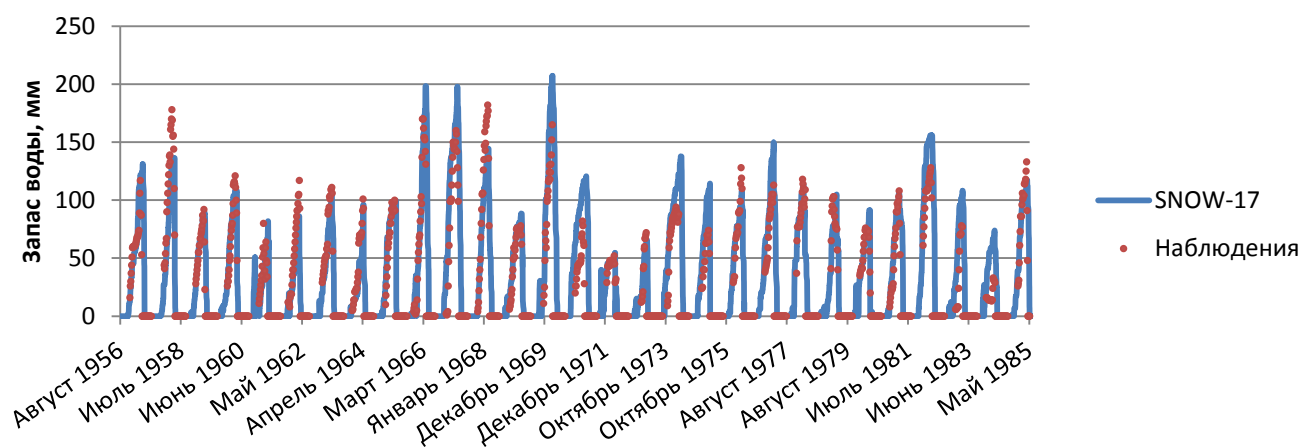


Рис. 2. Сравнение результатов моделирования снежного покрова и данных снегомерных маршрутов для лесной части водосбора р. Протвы в период с 1956 по 1985 гг.

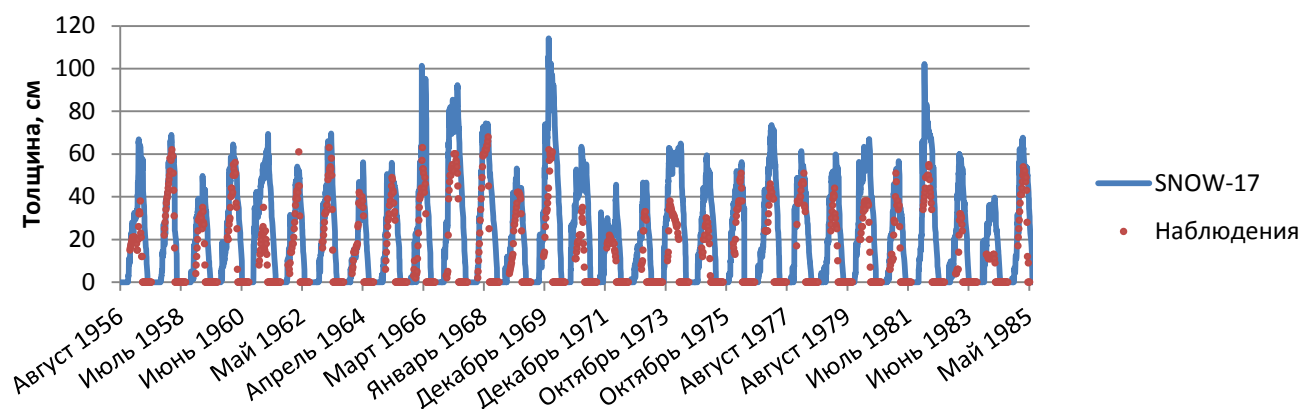


Рис. 3. Сравнение результатов моделирования снежного покрова и данных снегомерных маршрутов для полевой части водосбора р. Протвы в период с 1956 по 1985 гг.

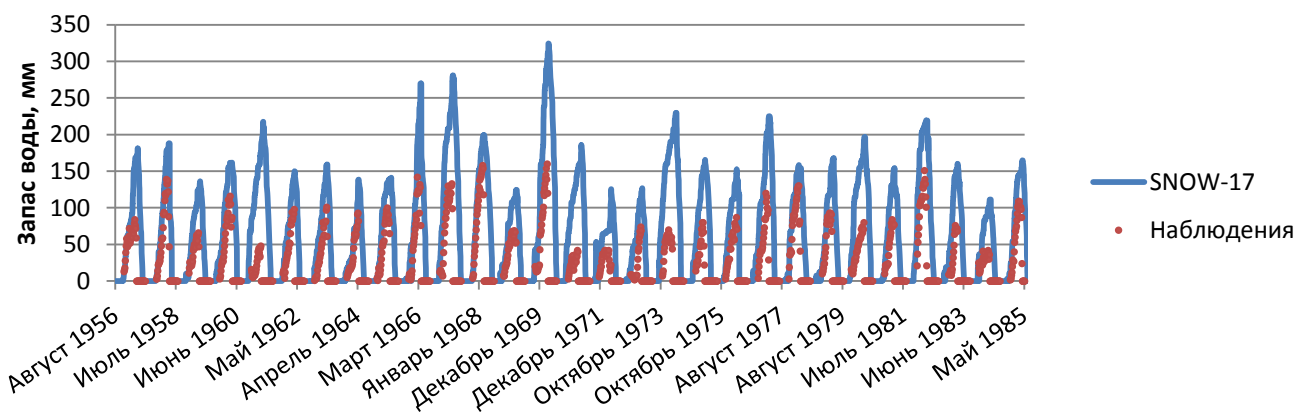


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования снежного покрова и данных снегомерных маршрутов для полевой части водосбора р. Протвы в период с 1956 по 1985 гг.

Произведенные расчет и анализ позволяют говорить о том, что модель можно использовать для прогнозирования, и необходимо ее дальнейшее исследование для успешного моделирования снежного покрова.

## **Гидродинамические процессы в гиперприливном эстуарии малой реки Сёмжи: возможность моделирования.**

**Панченко Евгения Дмитриевна**

*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

Гидродинамическое моделирование приливных устьев рек является наиболее перспективным способом исследования особенностей взаимодействия речных и морских вод в этих специфических природных объектах. Используя в основе качественный пласт необходимых для компьютерного моделирования натуральных данных, можно воспроизводить различные ситуации взаимодействия длинных волн в устьевой области реки, как типичные, так и редко наблюдающиеся в природе, оценивать дальность проникновения приливных колебаний уровня воды, особенности интрузии соленых вод, знания о чем часто необходимы при организации хозяйственной деятельности в устье реки.

Одномерные гидродинамические модели требуют намного меньше фактической информации об объекте и времени для проведения численных расчетов, чем двумерные и трехмерные модели, поэтому их использование удобно на начальном этапе исследований. Целью настоящей работы являлось изучение возможности применения одномерной гидродинамической модели для адекватного воспроизведения условий динамики водного потока в гиперприливном устье малой реки.

Объектом исследования была выбрана река Сёмжа, впадающая в эстуарий Мезени вблизи ее устьевого створа. Для устьевого створа Мезени характерен почти правильный полусуточный прилив с величиной в сизигию до семи метров. При этом при движении приливной волны вверх по эстуарию за счет эффекта конфузора величина прилива возрастает, достигая в районе впадения Сёмжи девяти метров. Таким образом, данный выбор объекта исследования дает возможность рассматривать особенности взаимодействия речных и морских вод в гиперприливных условиях, при этом малый размер реки позволил собрать все необходимые для моделирования исходные данные в ходе одной небольшой экспедиции в августе 2015 года (Демиденко, Зиновьев и др., 2015).

Сёмжа является малой рекой, ее длина составляет 63 км, площадь водного бассейна равна 490 км<sup>2</sup>. Средний меженный речной сток вблизи устьевого створа Сёмжи составляет около 5 м<sup>3</sup>/с. Из-за большой величины прилива объем стока речной воды во много раз меньше объема воды, поступающего с приливной волной, и особенности режима реки в нижнем течении определяются главным образом морскими водными массами, дважды в сутки реверсивно перемещающимися в низовьях реки.

В качестве одномерной гидродинамической модели был выбран программный комплекс Датского гидродинамического института MIKE 11, широко использующийся во всем мире для исследования неустановившегося движения воды в реках и позиционирующийся его разработчиками как универсальный. Существенным преимуществом MIKE 11 является учет всех членов в уравнении движения (1) системы Сен-Венана, лежащей в основе одномерной модели. Часто при исследовании динамики речного потока инерционными членами уравнения движения пренебрегают, считая их много меньше уклона трения, однако для приливных устьев рек такой подход является неприемлемым. Была проведена количественная оценка членов уравнения движения в различные фазы приливного цикла для части устьевого участка Сёмжи. В момент, когда уклон водной поверхности на



рассматриваемом участке близок к нулю, величины локального и конвективного ускорений по модулю соизмеримы с уклоном трения.

$$I = \left(\frac{\alpha_0}{g}\right) \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t}\right) + \left(\frac{\alpha \bar{u}}{g}\right) \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}\right) + \frac{\bar{u} |\bar{u}|}{C^2 R}, (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0, (2)$$

где (1) – уравнение движения, (2) – уравнение неразрывности,  $I$  - уклон водной поверхности,  $g$  – ускорение свободного падения,  $x$  - координата по оси, направленной по течению речного потока,  $\omega$  - площадь поперечного сечения потока,  $\bar{u}$  - скорость течения, осредненная по поперечному сечению потока,  $Q = u \omega$  - расход воды через поперечное сечение потока,  $t$  - время,  $C$  - коэффициент Шези,  $R$  – гидравлический радиус,  $\alpha$  - коэффициент Кориолиса ("корректив кинетической энергии"),  $\alpha_0$  - коэффициент Буссинеска ("корректив количества движения"). Коэффициенты Кориолиса и Буссинеска, также часто называемые "коррективами скорости", отражают неравномерность распределения скоростей в поперечном сечении потока:

$$\alpha = 1 + 3 \frac{\int \Delta u^2 d\omega}{\bar{u}^2 \omega}, (3)$$

$$\alpha_0 = 1 + \frac{\int \Delta u^2 d\omega}{\bar{u}^2 \omega}, (4)$$

где  $\Delta u$  - отклонение местной скорости от среднего по сечению значения.

К достоинствам выбранного программного комплекса стоит также отнести возможность задания значений коэффициентов Кориолиса (3) и Буссинеска (4), отличных от обычно принимаемой в гидравлике единицы, ведь в момент смены течений величины коррективов скорости резко возрастают, стремясь к бесконечности.

Исходными данными для гидродинамического моделирования устьевого участка Сёмжи служили 63 поперечных профиля русла реки, охватывающие участок длиной 21,2 км. На этом расстоянии от устьевого створа реки в условиях меженного стока наблюдается зона выклинивания подпора, создаваемого сизигийной приливной волной. В качестве верхнего граничного условия задавался постоянный расход воды, равный среднемеженному, в качестве нижнего - фактическое изменение уровня воды за приливный цикл. Фактическая отметка водной поверхности в первый момент времени использовалась как начальное условие. Для воспроизведения особенностей динамики водного потока в реке Сёмже был рассмотрен полный приливный цикл. Калибровка модели проводилась по фактическим уровням воды в створе в 8 км выше нижней границы путем подбора параметров гидравлического сопротивления, а также коэффициентов Кориолиса и Буссинеска. Получившаяся одномерная модель устьевого участка Сёмжи адекватно воспроизводит динамику водного потока на качественном уровне, однако достичь полного соответствия между расчетными и фактическими значениями уровней воды и скоростей течения воды в ходе численных расчетов не удастся. При одних сочетаниях значений калибровочных параметров лучше воспроизводятся уровни воды, при других – скорости течения и расходы воды (рисунок 1).

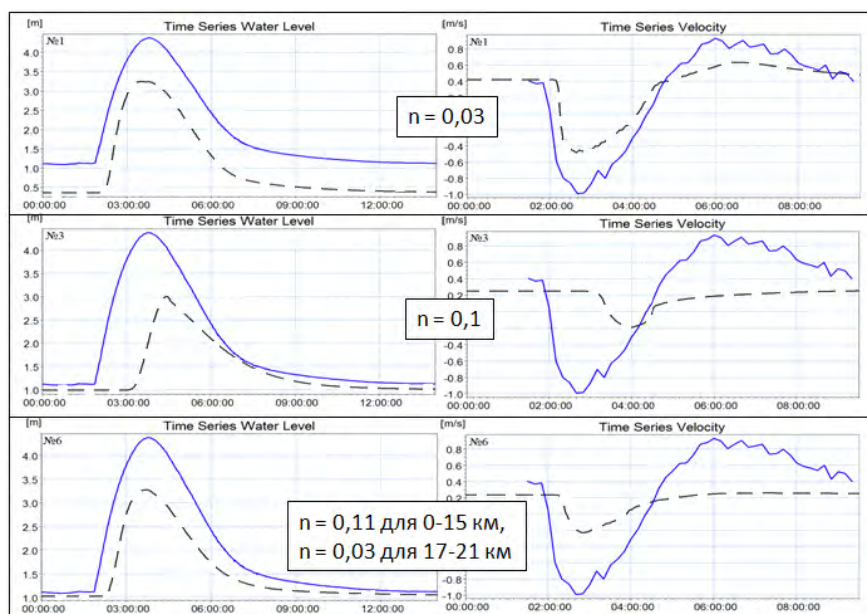


Рис. 1. Слева: совмещенные графики уровней водной поверхности в 8 км от устьевого створа реки Сёмжи, сплошная линия – фактический уровень воды, пунктирная – рассчитанный; справа - совмещенные графики скоростей течения воды в 8 км от устьевого створа реки Сёмжи, сплошная линия – фактическая скорость течения, пунктирная – рассчитанная;  $n$  – коэффициент шероховатости Маннинга.

Было сделано несколько предположений относительно причин неточностей результатов моделирования. Основной причиной представляется невозможность учета изменения коэффициента гидравлического сопротивления и коррективов скорости в зависимости от уровня воды и фазы приливного цикла. К числу второстепенных, но также повлиявших на результат причин могут относиться неподходящий численный алгоритм выбранного программного комплекса, осреднение скоростных параметров водного потока за счет одномерной схематизации, чрезмерное сглаживание рельефа дна между поперечными профилями русла реки.

Таким образом, для воспроизведения гидродинамических процессов в гиперприливном эстуарии малой реки необходим либо переход к другой одномерной гидродинамической модели, предусматривающей возможность задания калибровочных параметров в виде функции от ряда факторов, таких как глубина потока, фаза приливо-отливного цикла, либо использование в качестве исследовательского инструмента двумерных и трехмерных моделей.

### Список литературы

Демиденко Н. А., Зиновьев А. Т., Алабян А. М., Панченко Е. Д., Фингерт Е. А., Льюменс М. Х. Исследование и моделирование параметров гидрологического режима и динамики взвешенных наносов в Мезенском заливе и эстуариях Мезени и Кулоя / Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, Том 3, Геология морей и океанов // М: ГЕОС, 2015. С. 175–179.

## **Гидродинамическое моделирование макроприливного эстуария реки Мезень.**

**Льюменс Макс, Фингерт Евгения Александровна**

*University of Twente Faculty of Engineering Technology, Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова*

Устьевые области рек являются особым географическим объектом, обладающим специфическим режимом, формирующимся при взаимодействии речных вод и вод приемного водоема, в том числе под влиянием приливов, сгонно-нагонных явлений, плотностных эффектов при смешении пресных речных и соленых морских вод.

В качестве объекта исследования был выбран эстуарий реки Мезень. Интерес к этому устью связан с исключительно большими приливными колебаниями уровня и высокими приливными скоростями течения, а также активными деформациями русла. Вместе с тем, он остается одним из наименее изученных устьев рек России.

Река Мезень расположена в Европейской части России и протекает по территории Архангельской области и Республики Коми, ее площадь водосбора составляет 78000 км<sup>2</sup>, а длина около 966 км. По классификации В.Н. Михайлова [Михайлов, 1997] устьевая область р. Мезень относится к эстуарному типу без блокирующей косы. Устьевой створ, проходит по линии мыс Масляный - мыс Рябинов. Вершина эстуария (мыс Белый Нос) находится в 40 км от устьевого створа. Вершина устьевой области р. Мезень располагается в 90 км от устьевого створа, в районе впадения притока - р. Пеза [Демиденко, 2008]. По строению и характеру гидрологических и морфологических процессов устьевое взморье относится к полузакрытому и отмелому типу.

Гидрологический режим устьевой области р. Мезень формируется при взаимодействии речных и морских вод. Средний годовой расход на ближайшем к устью опорном гидрологическом посту - д. Малонисогорская (186 км от устья, площадь водосбора 56400 км<sup>2</sup>) за период наблюдения с 1920 по 2013 год составляет 641 м<sup>3</sup>/с, минимальные меженные расходы составляют около 200 м<sup>3</sup>/с, а максимальные расходы, наблюдающиеся в период весеннего половодья могут достигать 9000 м<sup>3</sup>/с.

Несмотря на такие объемы речного стока, приливы дают основной вклад в динамику вод в эстуарии. Для него характерны полусуточные приливы, максимальные величины которых наблюдаются в районе мыса Сёмжа, в 6 км от устьевого створа - величина сизигийного прилива здесь может достигать 9 м. Время роста приливов в районе мыса Сёмжа составляет примерно 4 часа 45 минут, а время падения - около 7 часов 45 минут. Таким образом, приливо-отливные расходы воды многократно превосходят речные расходы, не только во время периода межени, но и во время половодья. При движении вверх по течению реки волна прилива трансформируется и в районе пос. Затон в 63 км от устьевого створа амплитуда приливных колебания уменьшается до 0,7 м в сизигию, и до 0 в квадратуру [Демиденко, 2008].

Для того, чтобы получить полное представление о гидродинамических процессах, происходящих в пределах эстуария, наблюдений на регулярной сети гидрологических постов и во время экспедиционных исследований зачастую оказывается недостаточно. В связи с этим, в последние десятилетия получило широкое распространение применение различных видов гидродинамических моделей для получения более детальной информации об особенностях течений и переноса различных примесей: одномерных, плановых и профильных двумерных, а также трехмерных моделей.

Для сравнения возможностей применения двумерных и трехмерных моделей были выбраны программные комплексы Stream-2D и Delft-3D. Обе программы применялись для расчета течений в приливных устьях российских и зарубежных рек.

Численная гидродинамическая модель Delft3D разработана Нидерландским институтом WL/Delft Hydraulics. Программный комплекс Delft3D широко применяется для моделирования устьевых областей рек, в том числе для моделирования в них транспорта наносов и русловых деформаций. Компонент Delft3D-FLOW позволяет моделировать двумерные, осредненные по глубине, и трехмерные неустановившиеся потоки и базируется на решении уравнений Навье - Стокса для несжимаемой вязкой жидкости в гидростатическом приближении и приближении Буссинеска.

Модель STREAM-2D разработана В.В. Беликовым и В.В. Кочетковыми зарегистрирована в Росреестре [2014]. Модель разработана для решения задач движения речных потоков в широкопойменном русле и затопленной пойме, но также применялась для моделирования приливов и нагонов [Беликов, 2005]. STREAM-2D является однослойной двумерной плановой численной гидродинамической моделью, основанной на решении уравнений «мелкой воды».

Область моделирования включает в себя участок от устьевого створа р. Мезень, до вершины устьевой области, в 90 км от устьевого створа, где также находится водомерный пост с. Дорогорское. Для обеих моделей была построена ортогональная структурированная криволинейная сетка с размером ячеек от 150 до 800 м по длине и от 250 до 650 м по ширине русла (рис. 1). В плане сетки для обоих программных комплексов одинаковые. В трехмерном Delft3D по вертикали 5 слоев.

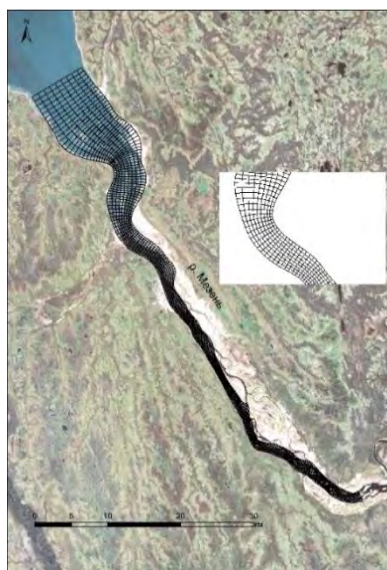


Рис. 1. Схематизация расчетной области в эстуарии р. Мезень.

Входными данными для обеих моделей служат информация о рельефе, начальные и граничные условия в виде хода уровней на нижней границе, расходов воды на верхней границе и начального распределения отметок водной поверхности. Русловой рельеф был получен из лоцманских карт р. Мезень и Мезенского залива Белого моря. В качестве граничных условий на верхней границе задавались расходы воды р. Мезень. В качестве граничных условий на нижней границе задавались приливные колебания в виде гармонических составляющих, которые определялись при помощи анализа данных о

колебаниях уровня, полученных в период экспедиционных наблюдений с 1 по 5 августа 2015 года (с участием авторов), а также рассчитанных уровней воды для пункта Сёмжа, публикуемых на сайте Государственного океанографического института.

Также была произведена первичная калибровка моделей путем подбора коэффициента шероховатости  $n$ , а для трехмерной модели - дополнительно горизонтальной компоненты турбулентной вязкости  $\nu_{T,гор}$ . За расчетный период был взят 2013 год. Сравнение результатов моделирования производилось для одного и того же участка с одинаковыми начальными и граничными условиями. Время наступления сизигии и квадратуры совпадают, амплитуда колебаний уровней в Delft3D на 15-20 см ниже, чем в двумерной модели (рис.2). Однако, по результатам расчетов обеих моделей, в районе верхней границы наблюдаются колебания уровня до 2,5 м. При увеличении значений калибровочных параметров в Delft3D амплитуда колебаний уменьшается, но при этом наблюдается повышение среднего уровня воды, что на данном этапе приводит к невозможности точного подбора значений калибровочных параметров для модели.

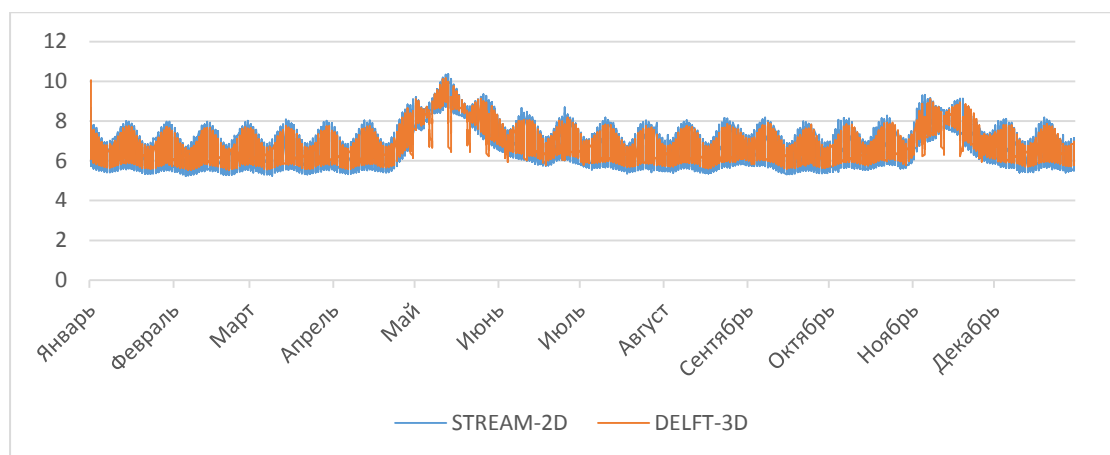


Рис.2. Сравнение смоделированного хода уровней на верхней границе по двум моделям.

Дополнительно для трехмерной модели было произведено сравнение измеренного и смоделированного расходов воды в устьевом створе. Во время экспедиции 2015 г. был измерен с помощью ADCP приливный сизигийный расход воды в устьевом створе, который составил  $89700 \text{ м}^3/\text{с}$ . Однако, данный расход не является максимальным, поскольку продолжительность измерения составила порядка 2 часов и в начале измерения наблюдался рост приливной скорости, а в конце спад. По результатам расчетов было получено, что величина максимального отливного расхода составляет  $64800 \text{ м}^3/\text{с}$ , а приливного -  $85500 \text{ м}^3/\text{с}$  (рис. 3б), то есть расхождение между фактическим и смоделированным расходом составляет менее 5%. Расхождения могут наблюдаться из-за того, что в реальности на прилив могут также накладываться сгонно-нагонные явления, а также из-за неточностей расчетной сетки.

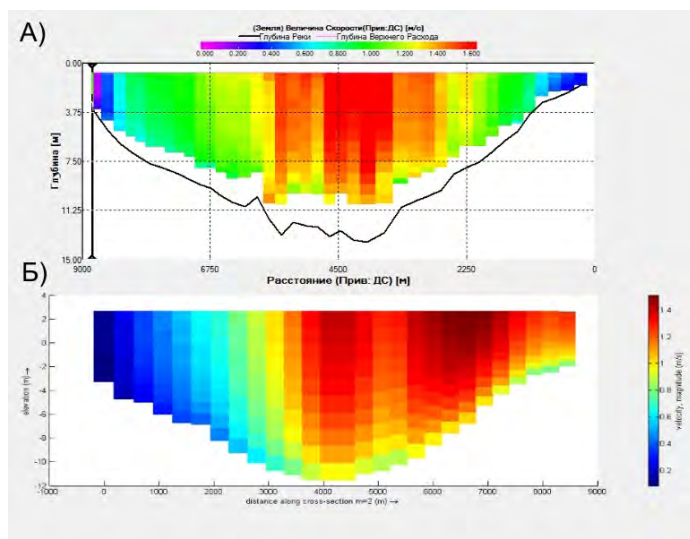


Рис.3. Сравнение профиля приливного сизигийного расхода измеренного при помощи ADCP (а) и рассчитанного по модели (б).

В процессе моделирования также оценивалась зависимость результатов расчетов от густоты расчетной сетки. Для этого была построена более детальная сетка с размером ячеек от 50 до 300 м по длине и от 75 до 200 м по ширине, детализация по глубине составила 10 слоев. Сравнение уровней воды в районе верхней границы модели, полученных в результате расчетов на двух вариантах расчетной сетки показало, что параметры расчетной сетки в исследованных пределах не влияют на распространение приливных колебаний.

Первые результаты по моделированию течений в устье Мезени показали, что как двумерная, так и трехмерная модели могут адекватно воспроизводить приливо-отливные явления в общих чертах. Необходима дальнейшая более тонкая настройка параметров для отдельных сценариев сизигии, квадратуры, нагона. Результаты работы будут использованы для планирования программы полевых работ во время последующих экспедиций в район устья реки Мезень.

### Список литературы

1. Беликов В.В., Кочетков В.В. Программный комплекс для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в протяженной и разветвленной системе русел (RIVER\_1D) Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2014612182. М., 2014.
2. Беликов В.В. Совершенствование методов и технологий прикладного численного моделирования в гидравлике открытых потоков. Дис. д-ра техн. наук. М., 2005. 373 с.
3. Демиденко Н.А., Землянов И.В., Горелиц О.В., Михайлов В.Н. Исследование гидролого-морфологических процессов в устьевой области р. Мезени для целей проектирования Мезенской приливной электростанции // Труды ГОИН. - Т.211, М.: 2008. С. 273 - 288.
4. Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек. - М.: ГЕОС, 1997. - 176 с.

## **Ресурсы пресных подземных вод – стратегический источник водоснабжения Арктической зоны России<sup>1</sup>.**

**Четверикова Анна Вадимовна**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской Академии Наук (ИВП РАН), г. Москва*

Подземные воды Арктической зоны России (АЗР) являются одним из слабо изученных компонентов водных ресурсов и водного баланса, как всей АЗР, так и ее отдельных территорий. Отсутствие обобщенных данных о ресурсах подземных вод не позволяет разработать схему комплексного использования и охраны водных ресурсов и определить перспективы использования пресных подземных вод. В настоящем исследовании оценена возможность использования пресных подземных вод Арктической зоны России как стратегического источника водоснабжения населения.

К АЗР относится около трети территории всей Арктики. При этом имеются значительные разночтения в понимании границ Арктической зоны для решения различных научных и практических задач. В данном исследовании использовались границы, определенные Указом президента РФ «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» № 296 от 2.05.2014 г. Рассматриваемая территория расположена в пределах Балтийского и Анабарского сложных гидрогеологических массивов, Северо-Двинского, Печорского, Иртыш-Обского, Тазовско-Пурского, Хатангского, Тунгусского, Оленекского, Якутского артезианских бассейнов, Печерско-Предуральского предгорного артезианского бассейна, Канино-Тиманской, Колымо-Омолонской, Корякско-Анадырской гидрогеологических складчатых областей, Пайхой-Новоземельской, Таймыро-Североземельской, Лаптевской, Новосибирско-Чукотской и Охотско-Чукотской сложных гидрогеологических складчатых областей, характеризующихся различными условиями формирования и распространения подземных вод. В гидрогеологическом отношении указанная территория – крайне сложна и неоднородна. На данной территории существенную роль в формировании естественных ресурсов подземных вод играет многолетняя мерзлота в сочетании с процессами образования таликов. Наличие многолетнемерзлых пород приводит к расчленению верхнего слоя земной коры на зону сезонного подземного стока в деятельной зоне, мерзлую зону, в которой практически не происходит движения подземных вод в жидкой фазе и зону подмерзлотных вод [1].

В целом, распределение разведанных запасов подземных вод на территории АЗР неравномерно. Из общего количества 2733,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут, наибольшая часть разведанных запасов находится в г. Архангельск, Онежском, Приморском и Мензенском районах Архангельской области – 813,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут, наименьшая – в Чукотском Автономном округе (123,6 тыс. м<sup>3</sup>/сут). При этом в среднем степень освоения запасов подземных вод по Арктической зоне России не превышает 12%, варьируя от 0,2% в указанных районах Архангельской области до 30% в Таймырском и Туруханском районах Красноярского края. Всего использование подземных вод на исследуемой территории на 01.01.2015 г. составило 329,9 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Наибольшее количество использовалось на хозяйственно-питьевое водоснабжение (239,6 тыс м<sup>3</sup>/сут), меньшее количество – на промышленно-техническое (82,3 тыс м<sup>3</sup>/сут) и наименьшее – на нужды сельского хозяйства (8 тыс м<sup>3</sup>/сут) (рис. 1). При этом потери на транспортировку составили 33,8 тыс м<sup>3</sup>/сут [2].

<sup>1</sup> Работа подготовлена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 16-05-00271



Для населения АЗР рассчитана потребность в хозяйственно-питьевом водоснабжении исходя из норм удельного хозяйственно-питьевого водопотребления и количества населения. Всего для исследуемой территории она составляет 485,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут, варьируя от 6,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут в Якутии (Аллаиховский, Анабарский, Булунский, Нижнеколымский и Усть-Янский улусы) до 190,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут в Мурманской области.



Рис. 1 Использование подземных вод в Арктической зоне России.

Оценена современная обеспеченность населения АЗР утвержденными запасами подземных вод. Оценка обеспеченности проведена путем сравнения потребности в хозяйственно-питьевом водоснабжении с утвержденными запасами пресных подземных вод. Для оценки обеспеченности введены три градации: 1) «надежно обеспеченный» - субъект Российской Федерации или район, для которого запасы подземных вод превышают потребность в подземных водах более чем в 2 раза, 2) «достаточно обеспеченный» - субъект Российской Федерации или район, для которого превышение запасов подземных вод над потребностью – не более чем в 2 раза и 3) «не обеспеченный» субъект Российской Федерации или район, в котором утвержденные запасы подземных вод меньше потребности [3]. К достаточно обеспеченным территориям отнесены Мурманская область и Мензенский район Архангельской области. К «не обеспеченным» - Онежский район Архангельской области и Аллаиховский, Анабарский, Булунский, Нижнеколымский и Усть-Янский улусы Республики Саха (Якутия). Остальные территории надежно обеспечены утвержденными запасами подземных вод.

Подземные воды имеют важное стратегическое значение не только как надежный и защищенный от загрязнения с поверхности земли источник водоснабжения, но также как резервный источник водоснабжения в условиях чрезвычайных ситуаций. При чрезвычайных ситуациях использование поверхностных вод по каким-либо причинам (разрушение гидротехнических сооружений, водопроводов, технических средств водоснабжения, последствия террористических актов, катастрофическое загрязнение существующих источников водоснабжения, природно-климатические катастрофы и др.) может быть ограничено. В связи с этим, использование резервных водозаборов подземных вод является

оптимальным способом предотвращения нехватки питьевой воды для населения в условиях ЧС.

Минимальное количество воды питьевого качества, которое должно подаваться населению по централизованным системам хозяйственно-питьевого водоснабжения или с помощью передвижных средств при чрезвычайных ситуациях, определяется из расчета 31 л на одного человека в сутки при малой физической активности [4]. В соответствии с указанными нормами рассчитана потребность населения АЗР в хозяйственно-питьевом водоснабжении в условиях чрезвычайных ситуаций, а также проведена оценка современной обеспеченности населения АЗР утвержденными запасами подземных вод. Все районы АЗР, за исключением Аллаиховского, Анабарского, Булунского, Нижнеколымского и Усть-Янского улусов Республики Саха (Якутия), отнесены к надежно обеспеченным утвержденными запасами подземных вод в условиях чрезвычайных ситуаций. Районы, находящиеся в Якутии, – не обеспечены утвержденными запасами подземных вод на период чрезвычайных ситуаций. Следует отметить, что превышение утвержденных запасов подземных вод над потребностью населения в хозяйственно-питьевом водоснабжении, в основном, справедливо для крупных территорий – областей и районов. Для городов, особенно, крупных, ситуация может отличаться в связи с большой неравномерностью в распределении ресурсов подземных вод.

Таким образом, подземные воды в сложных физико-географических, геолого-гидрогеологических и тектонических условиях АЗР могут использоваться не только как надежный стратегический источник водоснабжения для большинства районов Арктической зоны, но также как резервный источник водоснабжения населения в условиях чрезвычайных ситуаций.

### **Список литературы**

1. Данилов-Данильян В.И., Зекцер И.С. Ресурсы подземных вод и возможности их использования в Арктической зоне России. Современные производительные силы. От догоняющего к опережающему развитию. К 100-летию Совета по изучению производительных сил. Спецвыпуск: Арктика. Стратегия и приоритеты развития. М.: СОПС, 2015, № 3, с. 103-112
2. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2014 г. Вып. 38, М.: Геоинформмарк, 2015 г.
3. Зекцер И.С., Каримова О.А., Четверикова А.В. Современное состояние и перспектива использования пресных подземных вод для водоснабжения городов. Известия высших учебных заведений. Геология и Разведка. 2016, №1, с. 71-77
4. Методические рекомендации по организации первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях и работы пунктов временного размещения пострадавшего населения № 2-4-87-37-14 от 25.12.2013

## **Современные климатические и антропогенные изменения стока рек бассейна Вилюя.**

**Терешина Мария Алексеевна, Юмина Наталья Михайловна**

*МГУ им. М.В. Ломоносова*

### **Введение**

В период XX-XXI вв количественные и качественные изменения стока рек приобрели ранее невиданные темпы. Прямое и косвенное воздействие человеческой деятельности на водосборах рек привело к значительному переформированию водного баланса многих водных объектов, и процесс этот продолжается до сих пор. Результаты регулирования стока и климатических изменений проявляются на различных объектах по-разному, что часто делает задачу изучения многолетних колебаний стока и прогноза их возможных нарушений сложной и требующей многофакторного подхода.

Объектом данного исследования был выбран бассейн реки Вилюй, охватывающий территорию площадью более 140 тыс. км<sup>2</sup>. На этой территории, характеризующейся суровым резко континентальным климатом и сплошным распространением многолетних мерзлых пород, представлены как горные, так и равнинные условия, имеются участки с различной густотой и конфигурацией речной сети. Это делает бассейн Вилюя интересным объектом для изучения проявлений различных факторов формирования стока.

На самом Вилюе расположен каскад Вилюйских ГЭС – уникальное гидротехническое сооружение, функционирующее в условиях многолетней мерзлоты. Водоохранилища осуществляют многолетне-сезонное регулирование стока реки, что приводит к значительным изменениям во внутригодовом распределении ее стока, общий же объем стока ввиду природных условий остается почти неизменным [3, 4].

Климатические изменения на территории бассейна Вилюя выражены достаточно ярко. За последние несколько десятилетий в рядах среднегодовой температуры воздуха, наблюдаемой на метеостанциях данного региона, наблюдается повышение на 1 – 1,5 °С, отмечено увеличение годовых сумм осадков. Согласно оценкам климатических экспертов, к концу XXI века возможно увеличение среднегодовой температуры воздуха на 2 – 6 °С по сравнению с климатической нормой, возможен рост годовых сумм осадков до 30% с увеличением доли осадков, выпадающих в холодный период года [2].

### **Материалы и методы исследований**

В ходе работы были рассмотрены ряды многолетних колебаний нормы максимального, минимального и годового стока 18 речных бассейнов в пределах бассейна Вилюя, характеризующихся различным географическим положением и размерами и расположенных равномерно по выбранной территории (рис. 1). Использовались данные наблюдательной сети Росгидромета до 2013 года, длина рядов наблюдений на выбранных постах составила от 38 до 86 лет. Длина рядов позволила провести стандартный статистический анализ многолетних колебаний стока: оценить их стационарность и однородность, выделить периоды нарушения однородности и произвести количественную оценку вызванных ими изменений. Оценка однородности рядов стока производилась с применением двухвыборочных статистических критериев с разбиением рядов на две-три части. Для всех постов было выбрано разбиение на периоды до и после середины 1980-х гг – дата, после которой наиболее заметны климатические изменения на территории бассейна и отмечено нарушение однородности. Для

двух гидрологических постов, расположенных на самом Вилюе ниже водохранилищ (Сунтар и Хатырык-Хомо), разбиение проводилось по трем периодам: до середины 1960-х гг (до начала заполнения водохранилищ), с 1960-х по середину 1980-х гг (до начала заметных климатических изменений) и после середины 1980-х (современный период).



Рис. 1. Выбранные пункты гидрометеорологических наблюдений.

### Результаты исследования

Проведённый статистический анализ показал значительные изменения стока рек бассейна Вилюя, связанные как с регулированием стока, так и с климатическими изменениями в пределах бассейна.

**Антропогенное воздействие на сток Вилюя.** Возведение на Вилюе каскада водохранилищ привело к переформированию внутригодового стока реки. При незначительных дополнительных потерях на испарение и инфильтрацию [1] годовой сток реки остался неизменен. Годовой гидрограф реки оказался сильно сглажен: средний максимальный расход воды весеннего половодья снизился на посту Сунтар на 50%, на посту Хатырык-Хомо – на 35%; дисперсия максимального стока снизилась на 50%. Среднее значение минимального летне-осеннего расхода воды не претерпело статистически значимых изменений, однако снизилась его изменчивость: дисперсия минимального стока на посту Сунтар уменьшилась на 70%. Устья реки (Хатырык-Хомо) этот эффект почти не достигает из-за влияния впадающих в среднем течении Вилюя многоводных притоков.

**Климатические изменения стока.** Стабильное увеличение в бассейне Вилюя всех рассматриваемых характеристик стока с середины 1980-х годов при взгляде на графики многолетних колебаний стока можно отметить невооруженным глазом. Нарушение однородности рядов метеовеличин и рядов стока отмечается на суммарно-интегральных кривых в примерно одинаковый период времени для всех рассматриваемых пунктов наблюдений. Выделенные нарушения однородности характеристик стока представлены в таблице 1. Среднее увеличение нормы годового стока составило 20 – 30%, в отдельных бассейнах достигая 50% и более. Максимальный сток рек увеличился на 20 – 55%, для двух

постов также отмечено значительное увеличение его дисперсии. Также для ряда водосборов можно отметить смещение дат прохождения максимальных расходов половодья на более ранние даты в результате более раннего таяния снежного покрова. Изменения нормы минимального стока отмечены только для пяти постов, увеличение составило до 75%.

Таблица 1. Выявленные статистически достоверные изменения характеристик стока рек бассейна Вилюя после 1987 г.

Река	Пост	Среднегодовой сток		Максимальный сток		Минимальный сток	
		<i>m</i>	<i>D</i>	<i>m</i>	<i>D</i>	<i>m</i>	<i>D</i>
Вилюй	Усть-Амбардах	+32%		+22%		+57%	
	Чернышевский	+24%					
	Сюльдюкар	+33%				+74%	
	Сунтар	+34%				+37%	
	Хатырык-Хомо	+31%		+37%			
Чуркуо	Лавинда			+25%			
Чона	Чона						
Ичода	Майский						
Батыр	Ясный			+21%			
Кемпендяй	Кемпендяй	+47%		+53%		+75%	
Ыгыатта	Хампа	+57%					
Марха	Шалагонцы	+20%		+54%	+200%		
	Чумпурук	+16%		+25%			
	Малыкай	+22%		+26%	+59%	+35%	
Моркока	Хабардино	+28%					
Чилии	Чилии						
Чай	Чай						

Картографически все бассейны были выделены в три района, в пределах которых отмечается синфазность многолетних колебаний стока и схожий характер проявления климатических изменений.

Также была проведена попытка связи годового стока выбранных рек с метеорологическими факторами. Для большей части выбранных водосборов были составлены эмпирические зависимости нормы годового стока со среднегодовой температурой воздуха, суммой положительных температур и суммами осадков, рассчитанными по данным шести метеостанций. Несмотря на достаточно высокие коэффициенты множественной корреляции (более 0,7), составленные методики расчета не показали достаточной эффективности (величина  $S/\sigma$  почти во всех случаях оказалась выше 0,8), однако при дальнейшей работе возможно составить более удачные методики расчета.

## **Выводы**

- в результате регулирования стока Вилюя каскадом водохранилищ заметно снизился максимальный сток реки, уменьшилась изменчивость минимального стока; годовой сток изменений не претерпел;
- с середины 1980-х гг в рядах метеовеличин на метеостанциях бассейна и в рядах характерных расходов воды на выбранных гидрологических постах отмечается нарушение однородности, вызванное глобальными изменениями климата;
- климатические изменения привели к направленному увеличению годового, максимального и минимального стока для всех выбранных водосборов, в большинстве случаев обнаруживаемому статистическими критериями;
- изменения стока неоднородны по территории бассейна, в его пределах можно выделить три района с различными темпами изменений;
- построена связь годового стока рек с метеоэлементами, однако методика не обладает достаточной эффективностью и требует доработки.

## **Список литературы**

1. *Магрицкий Д.В.* Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики // Водные ресурсы. Т. 35 № 1, 2008, с. 3–16.
2. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
3. *Berezovskaya S., Yang D., Hinzman L.* Long-term annual water balance analysis of the Lena River // Global and Planetary Change, 48, 2005, p. 84 – 95
4. *Ye B., Yang D., Kane D.L.* Changes in Lena River streamflow hydrology: Human impacts versus natural variations // Water Resources Research, 39(7), 1200, 2003

## **Использование спутниковой информации при прогнозировании водности в речных бассейнах Ямало-Ненецкого автономного округа.**

**Чурюлин Евгений Викторович**

*ФГБУ АНИИ, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.*

В современном мире информация играет важнейшую роль в любых сферах деятельности человека. И гидрология в этом плане не является исключением. Если ещё пять, десять лет назад можно было ограничиться только фактическими данными, получаемыми с сети гидрологических постов, то сегодня уже появилась возможность использовать и другой источник данных. В частности, в роли такого первичного источника информации можно применять архивы спутниковой информации, в которых находятся данные за последние двадцать, тридцать лет. Но следует учитывать, что информация, которая содержится в электронных ресурсах требует, детализированной проверки, прежде чем её можно будет применить для расчётов. Погрешности в архивах спутниковых измерений связаны не только с недостаточным техническим оснащением спутников, но и в связи новизной данной отрасли в среде гидрологии. Современные алгоритмы и новые технологии позволяют уменьшить эту погрешность, но не избавиться от неё целиком. Ошибки и неточности в измерениях могут в дальнейшем привести к значительным погрешностям в гидрологических расчётах. Но не использовать спутниковые данные нельзя, поскольку пройдёт ещё пара лет и, возможно, данные получаемые со спутников будут просто незаменимы в использовании, особенно для расчётов в труднодоступных областях нашей страны, где уже сегодня данные получаемые с сети гидрологических наблюдений вызывают множество вопросов в их адекватности. Спутниковые данные в определённой мере позволяют исключить фактор человеческой халатности. Поэтому очень важно, уже сегодня научиться применять и использовать этот вид данных [1].

В качестве основного объекта исследования был выбран снежный покров. Снежный покров был выбран, потому что для территории Российской Федерации является не только мощным климатообразующим фактором, но и является важным гидрологическим ресурсом, влияющим на народное хозяйство.

### **Цели работы**

1) Изучение, сбор и систематизация фактической и спутниковой информации, необходимой для гидрологических прогнозов для рек на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

2) Создание и адаптация программного комплекса, позволяющего работать со спутниковой информацией в оперативном режиме. Его оптимизация и настройка для работы в институте Арктики и Антарктики (Отдел гидрологии устьев рек и водных ресурсов).

3) Практическое применение полученных результатов работы, на примере гидрологического моделирования по модели формирования стока первого порядка с сосредоточенными параметрами и постоянными коэффициентами.

Работа основывается на данных собранных с сайтов Финского метеорологического института и Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – мировой центр данных. В качестве объектов исследования данной работы выступают пять бассейнов рек на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. В работу включена база данных, которая была создана по фактическим и спутниковым



данным. Также в работу включены материалы полевых исследований, проводимых в 2015 году лабораторией «Арктик Шельф» на территории ЯНАО. Полевые исследования проводились с апреля по октябрь 2015 года.

Существует ряд проблем, связанных с применением пассивной микроволновой радиометрии, которые необходимо учитывать при работе данным типом данных. В частности, самыми существенными проблемами являются: проблема масштабирования, проблема низкого пространственного разрешения и проблема, связанная с калибровкой радиометра.

Но в случае, когда речь идёт о климатических исследованиях, данный недостаток пассивной микроволновой радиометрии становится её главным достоинством. Связано это с тем, что такие задачи требуют изначально усреднённых характеристик [2,3].

Для решения первой поставленной цели был выполнен пространственно-временной анализ доступных спутниковых данных, получаемых с сайта Финского метеорологического института, и выполнена оценка их применимости для территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Для решения поставленной цели выполнялись следующие шаги:

- сравнение и объективная оценка основных методов определения запасов воды в снежном покрове;
- оценка точности получаемой информации;
- сравнение спутниковой информации с фактическими данными запасов воды в снежном покрове за многолетний период;
- написание программного обеспечения для систематической работы с исходной информацией;
- создание базы данных с фактической и спутниковой информацией для территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

Отдельное внимание при выполнении практической части работы было уделено подготовительной стадии, на которой были выполнены следующие шаги:

- а) сбор и обработка маршрутных снегомерных наблюдений;
- б) сбор и обработка фактической информации о температуре воздуха, осадках и данных о фактической высоте снежного покрова;
- в) сбор, обработка и статистическая оценка гидрологической информации.

По результатам подготовительной работы была создана база данных для территории Ямало-Ненецкого автономного округа, где собрана вся доступная, актуальная и надёжная фактическая информация. В дальнейшем, после выполнения обработки данных полученных с помощью дистанционного зондирования Земли, база данных была скорректирована и в неё были внесены дополнения в виде раздела восстановленных данных о снеготзапасах [6,7].

Для получения данных о ДЗЗ использовался проект *GlobSnow*, и в рамках преддипломной практики была организована недельная стажировка в Финском метеорологическом институте. Проект *GlobSnow* был выбран из-за ряда преимуществ по сравнению с другими проектами, касающимся снеготзапасов. Этими преимуществами являются:

- а) возможность получать информацию независимо от наличия облачности;
- б) общедоступность;
- в) возможность получать данные бесплатно;
- г) дискретность (сутки, декады, месяцы);
- д) доступность к архивным материалам начиная с 1978 года;

- е) доступность данных начиная от 35<sup>0</sup> до 85<sup>0</sup> с.ш;
- ж) оперативность данных;
- з) точность данных.

Для реализации программного комплекса, позволяющего работать со спутниковой информацией в оперативном режиме была выбрана программная среда ArcGIS и языки программирования Java, Python и VBA.

На основе полученных данных был выполнен расчёт гидрологического прогноза для трёх гидрологических станции. Для выполнения данного прогноза была выбрана модель склонового стока:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{k\tau}Q + \frac{\dot{X}}{\tau}, \quad (1)$$

- где  $\frac{dQ}{dt}$  - изменение расхода воды во времени;
- $k$  - коэффициент стока;
- $Q$  - расход воды, м<sup>3</sup>/с;
- $\dot{X}$  - осадки, мм;

Для данного вида прогноза были использованы осадки с декадной заблаговременностью, которые складываются из двух составляющих:

$$X = X^{\text{осадки}} + X^{\text{снегозапасы}}, \quad (2)$$

- где  $X$  - общие осадки, мм;
- $X^{\text{осадки}}$  - жидкие осадки, мм;
- $X^{\text{снегозапасы}}$  - твёрдые осадки, мм.

При расчёте твёрдых осадков использовалась следующая формула:

$$X^{\text{снегозапасы}} = a * \sum_{+} t, \quad (3)$$

- где  $a$  - коэффициент водоотдачи;
- $\sum_{+} t$  - сумма положительных температур.

Коэффициент водоотдачи находился путём динамической параметризации, с учётом суммы положительных температур, если сумма положительных температур на момент времени  $t+1=0$ , то твёрдый сток перестаёт приниматься в расчёт, поскольку больше снегозапасов не наблюдается [9].

В ходе выполнения данного прогноза также можно узнать максимальные снегозапасы, которые можно применить для других моделей и расчётов.

В результате, которого установлено, что модель формирования стока первого порядка с сосредоточенными параметрами с учётом динамической параметризации даёт удовлетворительные результаты прогноза только после дополнительной калибровки модели. Пример прогнозов показан на рисунке 1, количественная оценка прогнозов представлена в таблице 1.

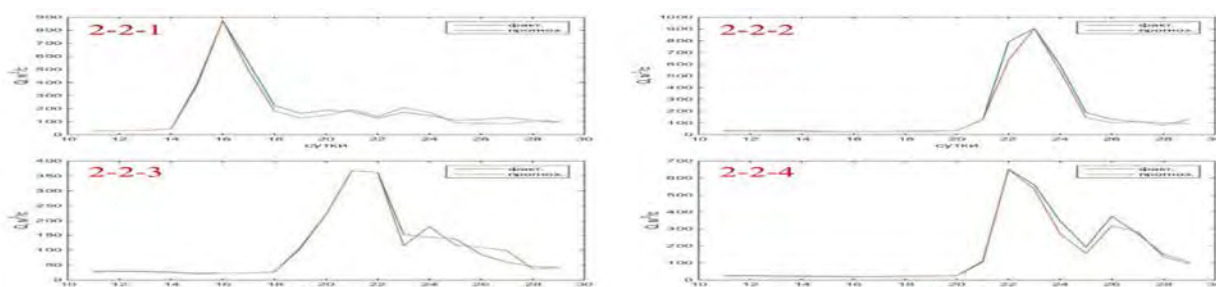


Рис. 1. Результат моделирования максимальных расходов воды весеннего половодья для реки Полуй – гмс. Полуй за период с 1998 по 2007 год.

Таблица 1. Результат моделирования максимальных расходов воды весеннего половодья для реки Полуй – гмс. Полуй за период с 1998 по 2007 год.

Год прогноза	$S/\sigma_{\Delta}$	$P, \%$	Номер графика
1998–1998	0,15	65,5	2-2-1
1998–1999	0,19	62,1	2-2-2
1999–2000	0,22	65,5	2-2-3
2000–2001	0,14	65,5	2-2-4

В ходе выполнения исследования были получены следующие результаты:

- полностью автоматизированный и оптимизированный программный комплекс, который позволяет работать с любыми данными типа \*.nc в независимости от направленности данных предоставляемых в этих файлах;

- результатом систематизации и оптимизации фактических гидрометеорологических данных, необходимых для выполнения моделирование стало создание базы данных. Дополнительно в базу данных для территории Ямало-Ненецкого автономного округа были включены результаты программного комплекса;

- на основе полученных данных выполнено гидрологическое моделирование, результаты которого показали, что модель формирования стока первого порядка с сосредоточенными параметрами и постоянными коэффициентами применяемая в бюро гидрологических прогнозов для учебных целей, требует дополнительной калибровки для применения данных о снегозапасах. Подключение такого типа данных требует использования моделей высших порядков или создания новой методики для выполнения гидропрогнозов.

### Список литературы

- 1) Шарков, Е.А. Пассивное микроволновое зондирование Земли: прошлое, настоящее и планы на будущее [Текст] /Е.А. Шарков. // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса, 2004 г., выпуск 4. – С.70-80.
- 2) Rees, W.G. Physical principles of Remote Sensing. (second edition) [Текст] // W.G. Rees. – Cambridge.: изд. Cambridge University Press, 2001. – 421 с.
- 3) Заболотских, Е. В. Спутниковое пассивное микроволновое зондирование [Текст] // Е.В. Заболотских. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012. – 53 с.
- 4) Aschbacher, J. Land surface studies and atmospheric effects by satellite microwave radiometry [Текст] / J. Aschbacher. // Ph.D. dissertation, Univ. of Innsbruck, 1989 г.
- 5) Телегина, А.А. Оценка точности спутниковой информации о снегозапасах крупных водосборов европейской территории России [Текст] / А.А. Телегина, Н.Л. Фролова, Л.М.

Китаев, Т.Б. Титкова. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014 г., выпуск 2. – С. 38-49.

6) GlobSnow – Finnish Meteorological Institute [Электронный ресурс] // FMI. – 2010. – Режим доступа: <http://www.globsnow.info/> (дата обращения 10.02.2016).

7) Meteo.ru [электронный ресурс] // ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2013. – Режим доступа: <http://meteo.ru/> ( дата обращения 01.09.2015).

8) Сикан, А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [Текст] // А.В. Сикан. – СПб.: изд. РГГМУ. 2007. – 279 с.

9) Коваленко, В.В. Обеспечение устойчивости моделирования и прогнозирования речного стока методами частично инфинитной гидрологии [Текст] // В.В. Коваленко. – СПб.: РГГМУ, 2011. – 107 с.

## Исследование распространения пресных вод в Карском море и заливах архипелага Новая Земля методом флуоресцентной спектроскопии растворенного органического вещества.

Дроздова Анастасия Николаевна<sup>1</sup>, Пацаева Светлана Викторовна<sup>2</sup>,  
Хунджуа Дарья Александровна<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, г. Москва

Растворенное органическое вещество (РОВ) природного происхождения является одним из наиболее важных компонентов морских экосистем, играющих ключевую роль в цикле углерода. Около  $25 \times 10^7$  тонн  $C_{\text{орг}}$  ежегодно поступает на арктический шельф со стоком великих сибирских рек [1], причем Карское море принимает в себя крупнейший во всем Арктическом бассейне речной сток, составляющий примерно 45% всего речного стока Арктики, делая его уникальным и наиболее интересным объектом для исследований.

В последнее время широкое развитие при изучении происхождения и динамики РОВ получили оптические методы, основанные на способности флуоресцирующей фракции РОВ поглощать УФ свет и люминесцировать в УФ и видимом диапазоне. Состав и соотношение компонентов РОВ могут существенно отличаться для различных акваторий, и поэтому «оптические маркеры» успешно используются для идентификации природных вод [2], а также для изучения процессов деградации РОВ [3]. Целью настоящей работы было изучение распределения концентрации растворенного органического углерода (РОУ) и флуоресценции РОВ в поверхностном слое вод Карского моря и заливов Новой Земли.

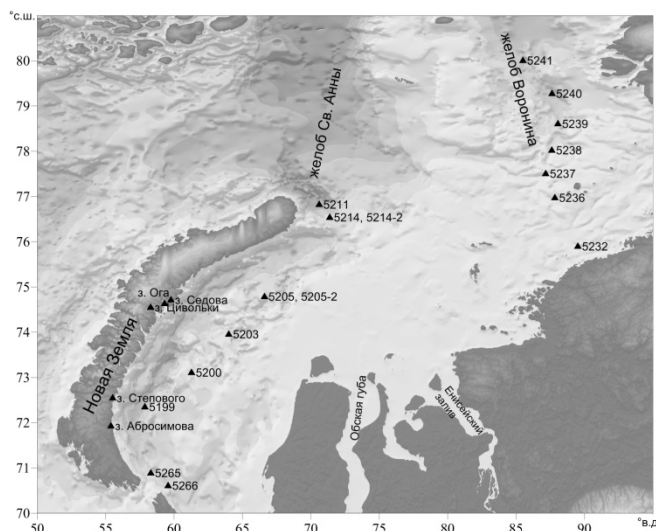


Рис. 16. Расположение станций, на которых производился отбор проб.

Пробы воды были отобраны в 63 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе-октябре 2015 г. Работы выполнялись на 28 станциях в Карском море и заливах Новой Земли (рис.1). Дополнительно, для изучения оптических свойств пресных вод, поступающих в акваторию Карского моря с Новой Земли, на островах были отобраны 10 проб речной и озерной воды и пробы льда.

Изучение флуоресценции воды осуществлялось на борту судна на спектрофлуориметре «Флюорат-02-ПАНОРАМА» фирмы «Люмэкс» при комнатной температуре сразу после фильтрации. Спектры регистрировались в

диапазоне от 240 до 650 нм с шагом 1 нм, при варьировании длины волны возбуждения от 230 до 550 нм с шагом 5 нм. Регистрация спектров поглощения проводилась с помощью спектрофотометра Unicо при комнатной температуре относительно дистиллированной воды в спектральном диапазоне 200-900 нм с шагом 1 нм. Квантовый выход флуоресценции (КВФ) для каждой длины волны возбуждения определялся методом эталонного красителя

[4]. В качестве раствора сравнения использовался водный раствор сульфата хинина, для которого КВФ составляет 0.55 [4]. Определение содержания РОУ выполнялось методом высокотемпературного сжигания на анализаторе ТОС-V<sub>СРН/СРН</sub> фирмы Shimadzu.

В качестве опорной при оценке распространения речных вод рек Оби и Енисея в Карском бассейне была выбрана станция 5205 (расположенная на разрезе через линзу вдоль восточного берега Новой Земли), спектральные данные которой приведены на рис.2. Соленость на этой станции опустилась до минимального значения 16.4 *enc*. Флуоресценция в коротковолновой области спектра 310–380 нм, соответствующая белкам и ароматическим аминокислотам отсутствует, в то время как флуоресценция ГВ в диапазоне 400–550 нм хорошо выражена (рис. 2, а и б). На этом примере хорошо видно, что максимум свечения ГВ зависит от длины волны возбуждения – при изменении длины волны возбуждения от 270 до 310 нм максимум полосы испускания смещается в сторону более коротких длин волн. Дальнейшее увеличение длины волны возбуждения приводит к смещению максимума флуоресценции в длинноволновую область. Такое спектральное поведение выделяет природное РОВ среди других органических люминофоров, а его численная характеристика – параметры «синего сдвига» – является отличительной особенностью природного РОВ различного происхождения [2]. Параметры «синего сдвига» и положение максимума полосы флуоресценции ГВ, выносящихся с речным стоком на шельф Карского моря, представлены в Таблице 1. На двумерном спектре пробы воды со ст. 5205 (рис. 2, б) отчетливо выделяются флуорофоры А и С по классификации Coble [5], что также свидетельствует о преобладании в пробах речных ГВ. Квантовый выход флуоресценции зависит от длины волны возбуждения, и варьируется в диапазоне от 0.5 до 2.3%.

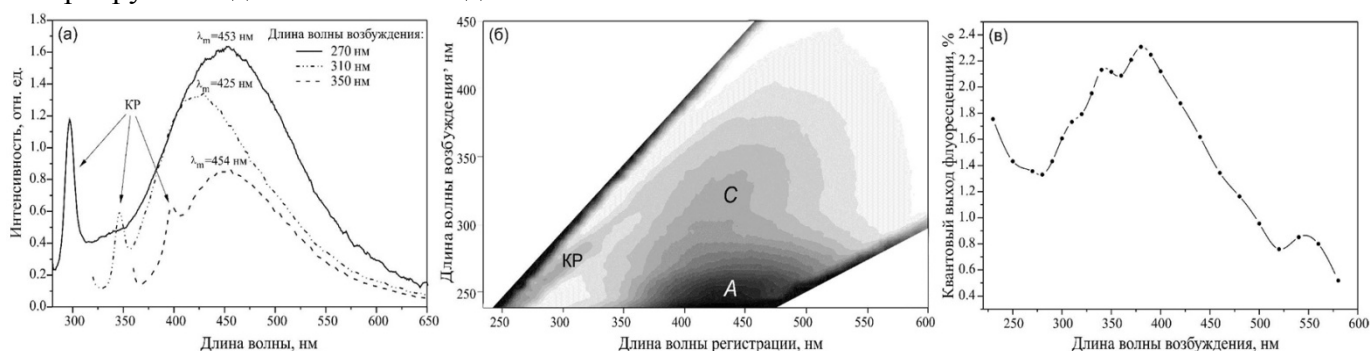


Рис. 2. Флуоресцентные свойства РОВ со станции 5205: (а) – спектры флуоресценции при длинах волн возбуждения 270, 310 и 355 нм; (б) – двумерный спектр флуоресценции; (в) – зависимость квантового выхода флуоресценции от длины волны возбуждения. КР – линия комбинационного рассеяния света молекулами воды.

Помимо западного типа распространения вод Оби и Енисея в Карском бассейне, дополнительный вклад в опреснение поверхностного слоя у берегов Новой Земли может вносить таяние Новоземельского ледяного массива. Для того чтобы оценить возможность использования флуоресцентных методов для идентификации вод у восточного побережья Новой Земли, были проведены исследования воды из пресных водоемов архипелага. Были получены типичные спектры флуоресценции проб льда и воды, отобранных на берегах заливов Ога, Цивольки, Степового и Абросимова, которые наглядно демонстрируют отсутствие ГВ (флуорофоры А и С) в образцах воды и льда с Северного острова и увеличение доли ГВ в составе РОВ в ручьях и озерах Южного острова. При этом для ГВ Южного

острова положение максимума полосы флуоресценции слегка смещено в область более коротких длин волн, Таблица 1. В большинстве проб также обнаружено присутствие тирозина и/или белков, содержащих в своем составе эту аминокислоту.

Таблица 1. Положение максимума полосы флуоресценции гуминовых веществ и величина «синего сдвига» спектров испускания опресненного слоя Карского моря (воды рек Оби и Енисея) и Южного острова Новой Земли. Абсолютная ошибка определения максимума полосы флуоресценции составляет  $\pm 1$  нм, а «синего сдвига» флуоресценции  $\pm 2$  нм.

Образцы	Положение максимума полосы флуоресценции ГВ, нм			«Синий сдвиг», нм	
	$\lambda_{ex} = 270$ нм	$\lambda_{ex} = 310$ нм	$\lambda_{ex} = 355$ нм	$\Delta_{270-310}$	$\Delta_{355-310}$
Станция. 5205	453	425	454	28	29
Ручей, з. Абросимова	449	422	453	27	31

Для оценки влияния речного стока в Карском бассейне были рассчитаны отношения интегральных интенсивностей флуоресценции ГВ проб воды к аналогичному показателю на опорной станции 5205. Для того чтобы минимизировать влияние флуоресценции белков и пика комбинационного рассеяния, для интегрирования был выбран диапазон 360–585 нм при длине волны возбуждения 310 нм. Содержание РОУ в исследованных пробах варьируется в диапазоне от 1.25 до 8.55 мг/л. При этом наблюдается консервативный характер распределения растворенного органического углерода, о чем свидетельствует линейная зависимость содержания РОУ от солености (рис. 4а). Установлено, что в случае консервативного распределения РОУ, зависимость интегральной интенсивности флуоресценции ГВ от солености также носит линейный характер (рис. 4б).

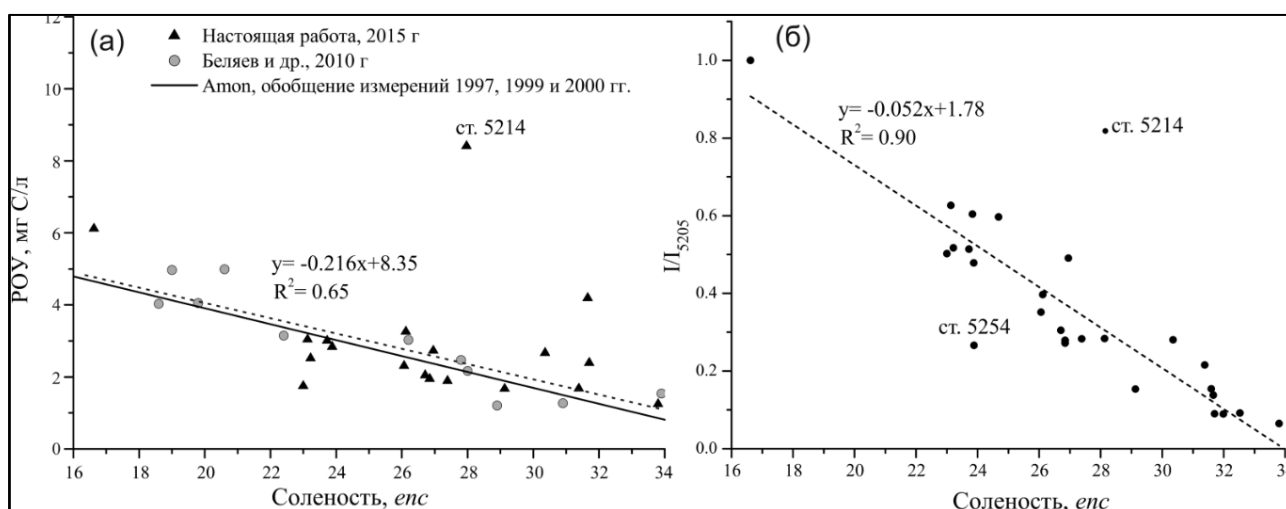


Рис. 4. (а) – Зависимость содержания РОУ в поверхностном слое от солености. На графике для сравнения представлены результаты, опубликованные в работе [6], по результатам экспедиционных работ 2007 г., а также прямая  $y = -0.221x + 8.326$ , описывающая консервативное распределение РОУ относительно солености по данным 1997, 1999 и 2000 гг. [7]; (б) – зависимость относительной интегральной интенсивности флуоресценции гуминовых веществ от солености. Пунктирные линии обозначают аппроксимацию линейной зависимости РОУ и интегральной интенсивности от солености.

Таким образом, на основании наличия/отсутствия флуорофоров А и С в пробах воды из пресноводных водоемов Новой Земли сделаны выводы: 1) об отсутствии ГВ в водах,



поступающих в Карский бассейн в результате таяния Новоземельского ледяного массива; 2) об увеличении доли ГВ в пресных водоемах Южного острова, что связано с более активными процессами почвообразования в условиях более теплого климата и отсутствия сплошного ледяного покрова, характерного для Северного острова архипелага. Регистрация флуоресценции ГВ в пробах из заливов Ога, Цивольки и Седова однозначно свидетельствует о проникновении в эти акватории пресных вод рек Оби и Енисея. В 2015 г., по-видимому, имело место западное тип распространения опресненных вод, как это наблюдалось в 2007 г., соленость у восточного побережья Новой Земли, однако не опускалась ниже 23.2 *enc* (в 2007 г это значение составило 16 *enc*).

На основании сравнительного анализа спектров флуоресценции установлено распространении терригенного РОВ в желобе Воронина до 80°с.ш. Повышенное содержание органического углерода, обнаруженное на том же разрезе на ст. 5238, связано с присутствием в пробах лабильного ОВ автохтонного происхождения. В районах желоба Св. Анны, Новоземельской впадины и опресненной линзы содержание автохтонного РОВ на порядок ниже по сравнению со ст. 5238, а в пресноводных водоемах и акваториях заливов Новой Земли, доля лабильного биодоступного ОВ возрастает.

Авторы благодарят за предоставленные данные о солености гидрологический отряд, начальника отряда биогеохимии Н.В. Лобуса за помощь в отборе проб, а также экипаж НИС «Академик Мстислав Келдыш» за содействие в проведении исследований.

Изучение оптических свойств РОВ выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант №16-35-60032 мол\_а\_дк). Определение содержания РОУ в пробах воды выполнено по государственному заданию 0149-2014-0036.

### Список литературы

1. Amon R.M.W. The role of dissolved organic matter for the organic carbon cycle in the Arctic Ocean // The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean / edited by Stein R.S., Macdonald R.W. Springer Berlin Heidelberg, 2004. P. 83–101.
2. Горшкова О.М., Пацаева С.В., Федосеева Е.В., Шубина Д.М., Южаков В.И. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды // Вода: химия и экология. 2009. № 11. С. 31–37.
3. Gonçaves-Araujo R., Stedmon C.A., Heim B., Dubinenkov I., Kraberg A., Moiseev D., Bracher A. From fresh to marine waters: characterization and fate of dissolved organic matter in the Lena River Delta region, Siberia // Frontiers in Marine Science. 2015. V. 2. № 108. 39469.
4. Stedmon C.A., Nelson N.B. The optical properties of DOM in the ocean // Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter, 2nd Edn. / eds. Hansell D.A., Carlson C.A. Cambridge, MA: Academic Press, 2014. P. 509–535.
5. Coble P.G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy // Marine Chemistry. 1996. V. 51. P. 325–346.
6. Stedmon S.A., Amon R.M.W., Rinehart A.J., Walker S.A. The supply and characteristics of colored dissolved organic matter (CDOM) in the Arctic Ocean: Pan Arctic trends and differences // Marine Chemistry. 2011. V. 124. № 1–4. P. 108–118.
7. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев, Д.М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология. 2010. Т. 50. №. 5. С. 698–708.

