

Приложение к Договору № 13/2018-Р
о предоставлении гранта от «01» июля 2018 года

ФОРМА

УТВЕРЖДАЮ:

ГРАНТОДАТЕЛЬ:

**Всероссийская общественная организация
«Русское географическое общество»**

Исполнительный директор

_____/А.А.Манукян/

МП

НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

Наименование грантового проекта: «Колыбельная трескового озера. Документация экосистемы озера Могильного (о. Кильдин, Баренцево море)»

Грантополучатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический государственный университет», 1939 год, ОГРН: 1025100833768; ИНН: 5191501710; КПП: 519001001; 183038 г. Мурманск, ул. Капитана Егорова, д.15, Врио ректора Шадрина Ирина Михайловна.

Общая сумма гранта: 1 504 151 (один миллион пятьсот четыре тысячи сто пятьдесят один) руб.

Сумма перечисленных денежных средств: 1 504 151 (один миллион пятьсот четыре тысячи сто пятьдесят один) руб.

Научный отчет о реализации проекта за период с «01» июля 2018 г. по «01» июля 2019 г., осуществленного за счет средств, полученных от Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» в рамках гранта по Договору № 13/2018-Р о предоставлении гранта от «01» июля 2018 года.

Оглавление

1. Введение.....	4
Задачи проекта.....	7
2. Сезонные наблюдения за вертикальной стратификацией вод оз. Могильного и вертикальным распределением зоопланктона	8
2.1. Оценка вертикального распределения физико-химических параметров воды (температура, соленость, газовый состав) и мезо зоопланктона на точке мониторинговых наблюдений в самой глубокой части озера (N 69°19.09', E 34°21.01').....	8
2.1.1. Оценка вертикального распределения физико-химических параметров воды	8
2.1.2. Вертикальное распределение мезо зоопланктона на точке мониторинговых наблюдений в самой глубокой части озера (N 69°19.09', E 34°21.01')	13
2.2. Изучение сезонной динамики температуры воды на разных глубинах с помощью самописцев температуры (непрерывные наблюдения с помощью самописцев температуры с октября 2018 по июнь 2019).....	19
3. Документация подводных и береговых сообществ и ландшафтов оз. Могильного.....	23
3.1. и 3.2. Фото и видеofиксация ландшафтов, донных сообществ и кильдинской трески	23
3.3. Описание сообществ сосудистых побережья озера (как водных, так и сухопутных), включая фильтрующую перемычку между озером и морем.....	31
3.3.1. Картирование береговой растительности	31
3.3.2. Список видов растений, отмеченных на обследованной территории	37
3.3.3. Растения, внесенные в Красные книги РФ и Мурманской области	39
3.4. Исследование микрофитобентоса оз. Могильного и прилегающих водоемов	40
4. Оценка микробиологических процессов в озере Могильном.....	47
4.1. Экспресс-оценка состава доминирующих фотосинтезирующих организмов.....	47
4.2. Определение количественного распределения доминирующих фотосинтезирующих организмов по вертикали с применением методов спектрофотометрии и спектрофлуориметрии.	51
4.3. Изучение вертикального распределения массовых простейших с применением световой и флуоресцентной микроскопии	54
4.4. Исследование мелкомасштабного распределения простейших в зоне хемоклина с помощью оригинального пробоотборника собственной конструкции с дробностью 2,5 см по вертикали ..	57
4.5. Состав фитопланктона, его вертикальное распределение и динамика	57
5. Оценка пресноводного питания озера Могильного.....	69
5.1. Подготовка базы метеорологических и гидрологических данных; подготовку картографической информации; создание ГИС – проекта в программе ArcGIS	69
5.2. Проведение гидрологической съёмки	73
5.2.1. Батиметрическая съёмка.....	74
5.2.2. Зондирование на репрезентативных станциях (электропроводность/солёность, мутность, содержание O ₂ , температура, освещенность)	75
5.2.3. Изучение режима поступления морских вод.....	75

5.2.4. Обследование водосбора	76
5.2.5. Зондирование дистанционными методами	79
5.3. Гидрохимические исследования	80
5.3.1. Результаты определения рН и Eh.....	81
5.3.2. Содержание сероводорода.....	81
5.3.3. Определение биогенных элементов	85
6. Изучение вертикальной стратификации вод и зональности биоты Третьего ковша (кутового бассейна) губы Ивановской.....	87
6.1. Оценка вертикального распределения физико-химических параметров воды (температура, соленость, содержание кислорода) и мезо зоопланктона на точке в самой глубокой части Третьего ковша.	89
6.2. Оценка вертикального распределения биологических сообществ на вертикальных трансектах от уреза воды до сероводородного слоя	94
Заключение	98
Литература	99

Научный отчет по Проекту Русского географического общества «Колыбельная трескового озера. Документация экосистемы озера Могильного (о. Кильдин, Баренцево море)»

Составители: Краснова Е.Д., Стрелков П.П. Меньшакова М.Ю.

1. Введение

Озеро с мрачным названием Могильное, расположенное на заполярном острове Кильдин – необычное не только по названию. Его называют реликтовым, потому что образовалось путем отделения от моря и до сих пор сохраняет черты морского водоема. После того, как каменная дамба отгородила озеро от моря, оно стало многослойным - меромиктическим. В противоположность морским заливам и пресным озерам, меромиктическое озеро никогда не перемешивается целиком. Ветровое перемешивание охватывает лишь самый поверхностный слой воды, и он опреснен. Глубже вода соленая. Отсутствие перемешивания, освежающего придонную зону, привело к застойным явлениям, в результате чего активизировался процесс бактериальной сульфатредукции – восстановления серы, которая содержится в сульфатах морской воды, до сероводорода. Им отравлен нижний слой озера. В каждом слое озера – своя жизнь. В пресном слое живут пресноводные организмы. В «сероводородном» слое никто не живет, кроме бактерий, которые его производят. В соленом слое, как в аквариуме, живут морские организмы. Они – реликты, оставшиеся в озере со стародавних времен, когда оно было морской лагуной. Самый знаменитый обитатель озера – кильдинская треска, нигде более не встречающаяся разновидность обычной (атлантической) трески. Озеро сохраняется в нынешнем состоянии многие тысячи лет и «требует тщательной охраны, как истинный памятник природы, и изучения». Других подобных озер на планете нет.



Фото Д.А. Воронова

Могильное – представитель особой, малоизученной категории морских систем, морских озер. Если остров можно определить как частицу земной тверди, окруженную со всех сторон водой, то морское озеро – как частицу океана, окруженную сушей. Могильное, возможно, – единственный в России и в Арктике представитель анхалиновых морских озер, которые сообщаются с морем под землей, посредством просачивания воды через земные породы. Ближайшие аналоги Могильного – тропические «медузовые» озера, например, архипелага Палау. Удивительным образом, не только по стратификации («слоистости») вод, но и по своей биоте арктическое озеро Могильное похоже на тропические морские озера. Например, в его морском слое тоже кишат медузы.

Из меромиктических озер России Могильное имеет самую большую историю изучения¹. Она восходит к 1887 г., когда в ходе зоологических исследований в Баренцевом море С.М. Герценштейн выловил в этом пресноводном, как тогда считалось, озере треску. Анализ привезенной им воды показал, что «озерная вода представляла собой смесь одной части океанской и приблизительно 13 частей снеговой, дождевой и ключевой воды», то есть чуть более 2%. При повторном посещении выяснилось, что под пресным слоем находится соленый, где и обитает треска, и озеро было признано реликтовым. В 1893-1899 гг. на оз. Могильном проводили исследования Н.М.Книпович, Б.Л.Риппас²; в 1899, 1909 и 1921 гг. оно было подробно изучено экспедицией К.М.Дерюгина, завершившейся выпуском первой монографии об этом озере³. Эта работа заложила точку отсчета для последующего мониторинга озера. Повторные подробные исследования были выполнены во второй половине XX века Мурманским морским биологическим институтом (ММБИ) и Полярным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), что дало материал для еще двух монографий под одинаковыми названиями – «Реликтовое озеро Могильное», вышедших в 1975 г. и 2002 г.^{4 5}

Еще в 1960-х годах заметили, что хемоклин в оз. Могильном стал смещаться кверху; в конце 1990-х это подтвердили и связали с загрязнением водоема бытовыми стоками. Последующие наблюдения за этим водоемом, организованные Санкт-Петербургским университетом в 2003-2007 гг.^{6 7 8 9}, показали, что граница распространения сероводорода продолжает подниматься, тогда как любая хозяйственная деятельность в той части острова, где находится озеро, прекращена, и его окрестности безлюдны. Кроме того, озеро осолоняется, поверхностный олигогалинный слой всё тоньше. Если в конце XIX века Книпович отмечал, что пресная зона распространяется до глубины 5,5-6,5 м, то сто лет спустя ее толщина уменьшилась до 2-3 м. Розовый слой, подкрашенный аноксигенными фототрофными бактериями, которые живут на границе кислородной и сероводородной зон и ис-

¹ Широкова В. А. Карл Шмидт и загадка озера Могильного (гидробиологический аспект) // Современная биогеография. Материалы Второй всероссийской научной телеконференции / Под ред. А.А.Лиховида, В.К.Рахилина. М.-Ставрополь: ИИЕТ РАН; Изд-во СГУ, 2004. С. 24-29.

² Риппас Б.А. Смена вод в реликтовом озере Могильном на о. Кильдине. - Известия Имп. Русск. геогр. об-ва, 1897, т. 33, вып. 1.

³ Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцевом море) // Труды Петергофского естественно-научного института. №2, Л., 1925.

⁴ Реликтовое озеро Могильное. Ред. Гуревич В.И., Цеев Р.Я. Л.: Наука, 1975, 298 с.

⁵ Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997-2000 гг.). Мурманск: Изд-во. ПИНРО. 2002, 164 стр.

⁶ Митяев М.В., Корсун С.А., Стрелков П.П., Матишов Г.Г. Древние береговые линии Восточного Кильдина. / Доклады Академии наук. 2008, Т. 423, № 4, С. 546-550.

⁷ Ежова Е.Е., Ланге Е.К., Полунина Ю.Ю., Кравцов В.А., Емельянов Е.М. Планктон и бентос меромиктического озера Могильное (о. Кильдин, Баренцево море) // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки. Тезисы докладов Международной научной конференции (г. Мурманск, 10–12 марта 2010 г.). – Апатиты, 2010. - С. 72-74.

⁸ Емельянов Е. М., В. А. Кравцов, Г. А. Тарасов, 2010 г. Основные черты состава донных осадков анаэробного озера Могильного // Океанология, 2010, т. 50, № 3, с. 440–457.

⁹ Strelkov P., Shunatova N., Fokin M., Usov N., Fedyuk M., Malavenda S., Korsun S. (2014). Marine Lake Mogilnoe (Kildin Island, the Barents Sea): one hundred years of solitude // Polar Biology, 37(3), 297-310.

пользуют сероводород для фотосинтеза, в конце XIX века находился на глубине 13 м¹⁰, в конце 1990-х поднялся к отметке 10 м. В последние годы хемоклин продолжает подниматься, что вызывает обеспокоенность из-за ухудшения условий обитания кильдинской трески – подвида атлантической трески, который обитает только в этом водоеме и занесен в Красную Книгу РФ.

Повышение минерализации миксолимниона в меромиктических водоемах может приводить к исчезновению плотностного градиента, который поддерживает их структуру и, как следствие, к исчезновению меромиксии, как это только что случилось с озером Шира в Хакасии¹¹. В Хакасии этому предшествовала малоснежная зима, из-за чего весной в озеро поступило мало пресного стока. К следующей осени плотностная стратификация была настолько слабой, что при зимнем охлаждении поверхностного слоя конвекция смогла проникнуть на большую глубину и разрушила анаэробный слой.

Не может ли что-то подобное случиться с Могильным?

Наличие «реликтовой» трески сближает Могильное с арктическими «тресковыми» озерами – морскими изолятами, которые сообщаются с морем не под землей, а поверхностно. Одно такое озеро расположено совсем недалеко от Могильного. Это – губа Ивановская^{12 13}.

Губа Ивановская, которая стала известна после публикации работы В.Н.Семенова «Систематика и экология морских бассейнов Севера на разных этапах изоляции» как аналог оз. Могильного¹⁴. Эта губа протяженностью около 20 км расположена посередине Кольского берега и замечательна тем, что рассечена мелководными порогами на четыре ковша с разной степенью изоляции от моря. Первый ковш испытывает наибольшее влияние моря, второй и третий представляют собой промежуточные стадии изоляции, а четвертый вовсе отделен от моря. Третий ковш по гидрологическим параметрам напоминает Белое море, для которого в летний период характерна двухслойная стратификация: распресненные и прогретые воды занимают поверхностный слой, который подстилается более солеными и постоянно холодными глубинными водами¹⁵. Четвертый ковш подобен озеру Могильному. Несколько лет назад в губе Ивановской начались регулярные океанографические исследования, нацеленные на выявление особенностей приливно-отливных явлений в разных ковшах, мониторинг тюленей, промысловых беспозвоночных и поиск изолированных популяций беспозвоночных, но, в силу географической удаленности и труднодоступности, организация регулярного мониторинга, а тем более – охватывающего все сезоны года, там невозможна.

Наблюдаемые изменения в оз. Могильном не были предсказаны учеными. В силу удаленности и того, что окрестности озера стали безлюдными, комплексных исследований (т.е. с использованием методов океанологии, гидрологии, гидрохимии, микробиологии, гидробиологии и т.д.) озера не проводилось уже 20 лет, а по некоторым направлениям 50 лет.

¹⁰ Исаченко Б.Л. Исследование над бактериями Северного Ледовитого океана // Тр. Мурманской научной промысловой экспедиции. 1906 г. СПб., 1914.

¹¹ Rogozin D.Y., Tarnovsky M.O., Belolipetskii V. M., Degermendzhi A. Disturbance of meromixis in saline Lake Shira (Siberia, Russia): Possible reasons and ecosystem response // *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 66, 2017, 12-23.

¹² Бобков, А. А., Стрелков, П. П., & Ильина, А. Н. (2010). Приливная изменчивость океанологических условий сублиторали губы Ивановской. Вестник Санкт-Петербургского университета. серия 7: Геология, география, (1), 86-99.

¹³ Strelkov P., Shunatova N., Fokin M., Usov N., Fedyuk M., Malavenda S., Korsun S. (2014). Marine Lake Mogilnoe (Kildin Island, the Barents Sea): one hundred years of solitude // *Polar Biology*, 37(3), 297-310.

¹⁴ Семенов В.Н. Систематика и экология морских бассейнов Севера на разных этапах изоляции. Апатиты, 1988.

¹⁵ Бобков, А. А., Стрелков, П. П., Ильина, А. Н. (2010). Приливная изменчивость океанологических условий сублиторали губы Ивановской. Вестник Санкт-Петербургского университета. серия 7: Геология, география, (1), 86-99.

Целью данного проекта было привлечение к озеру внимание ученых, организация комплексных научных экспедиций с участием представителей разных дисциплин: гидрологов, биологов, гидрохимиков, специалистов с опытом изучения меромиктических водоемов в других регионах.

Задачи проекта

Согласно грантовой заявке, основными задачами проекта было:

1. Документировать современное состояние оз. Могильного, с учетом сезонности.
2. Провести наблюдения в губе Ивановской - гидрологическом аналоге Могильного, для оценки степени согласованности межгодовых изменений в двух морских озерах.
3. Обобщить данные о межгодовой и долгосрочной динамике Могильного, сформулировать гипотезы о механизмах изменений, сделать прогноз на будущее.
4. Привлечь к работам заинтересованные коллективы, изучающие Могильное и морские озера, чтобы обеспечить комплексность исследования и создать задел дальнейшего сотрудничества.
5. Сформулировать программу комплексной практики студентов естественников на Могильном и реализовать научные задачи проекта в форме межвузовской практики-экспедиции.
6. Использовать данные проекта для популяризации и распространения актуальных знаний о Могильном и морских озерах.
7. Представить рекомендации по ведению мониторинга и охраны Памятника природы РФ «Озеро Могильное» и регионального ООПТ «Губа Ивановская».

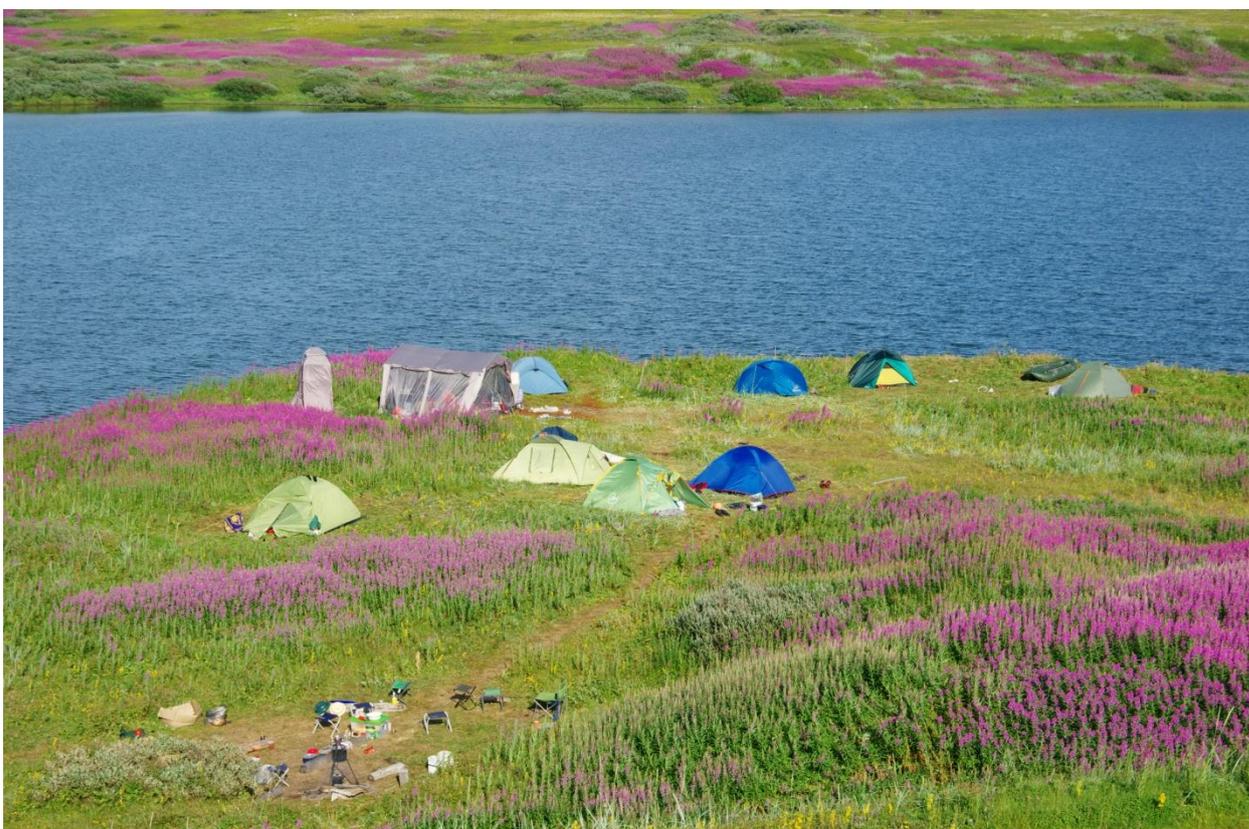


Фото А.А. Сазонова

Палаточный лагерь экспедиционного отряда на берегу оз. Могильного.

2. Сезонные наблюдения за вертикальной стратификацией вод оз. Могильного и вертикальным распределением зоопланктона

2.1. Оценка вертикального распределения физико-химических параметров воды (температура, соленость, газовый состав) и мезо зоопланктона на точке мониторинговых наблюдений в самой глубокой части озера (N 69°19.09', E 34°21.01')

2.1.1. Оценка вертикального распределения физико-химических параметров воды

Авторы: Е.Д.Краснова Д.А. Воронов, А.Н. Василенко, В.А. Ефимов, Фролова Н.Л., Сазонов А.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова).

Методы

Основные гидрологические характеристики определяли с помощью погружных зондов и в пробах воды, отобранных с разной глубины погружным насосом с размеченным кабелем (Рис. Отбор проб на оз. Могильном).

Соленость и температуру определяли зондами YSI Pro 1030 (США); «Эксперт» (Россия) и в пробах воды с помощью кондуктометра WTW Cond 1970i (Германия); содержание кислорода измеряли оптическими зондами «Эксперт» (Россия) и YSI Pro ODO (США); освещенность на разной глубине определяли с помощью люксметра Metro Wind Liner (Китай); для определения реакции среды и окислительно-восстановительного потенциала использовали портативные определители качества воды WaterLiner (Китай) с соответствующими электродами. Пробы для определения концентрации сероводорода отбирали погружным насосом с размеченным проводом каждые 50 см, а в зоне с резкими градиентами – 10 см. Для гидрохимических анализов в июле 2019 г. осуществляли горизонтальным батометром.

Большая часть приборов и пробоотборников была предоставлена для целей проекта МГУ им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургским государственным университетом и ФИЦКИА РАН (Архангельск).



Фото А.А. Сазонова

Отбор проб на оз. Могильном.

Результаты

Соленость

Мощность поверхностного опресненного слоя в период исследований была 2-2,5 м (Рис. Вертикальная зональность оз. Могильного в период исследований и профили солености и температуры.). В июле и августе 2018 г. и в июне 2019 г. его толщина была 2 м, и в октябре 2018 г. – 2,5 м. Осеннее увеличение толщины микролимниона на полметра мы связываем с усилением ветрового перемешивания и усилением конвекции при понижении температуры воздуха, а вместе с ней и поверхности воды. В течение 2018 года от июля к октябрю соленость поверхностного слоя увеличилась на 5 единиц от 5,5‰ в июле до 10,7‰ в октябре. Все это время озеро испытывало дефицит притока пресной воды: питающие его ручьи пересохли, и не наполнились даже от осенних осадков. На следующий год после таяния снега ручьи стали полноводными, и соленость вернулась к тому же уровню, на котором она была предыдущим летом (5,3‰).

Глубже 2 м соленость в течение всего года была постоянной: от 2 м до 6 м расположен галоклин, в котором соленость возрастает на 20 единиц, и ко дну постепенно увеличивается до 29,9‰. Важно, что по всему профилю, в том числе возле дна соленость ниже, чем в море, то есть сквозь фильтрующую дамбу морская вода попадает не в чистом виде, а смешанная с пресной. Смешение происходит в теле дамбы.

Температура

Сезонным колебаниям температуры подвержена толща озера до глубины 11 м, ниже температура постоянна в течение всего года (Рис. Вертикальная зональность оз. Могильного в период исследований и профили солености и температуры). Самый динамичный и чуткий к изменениям температуры атмосферы – поверхностный слой до глубины 2 м (миксолимнион); начиная в 2,5 м ввиду отсутствия конвекции температура меняется медленно. Ввиду этого в верхней части слоеного слоя может формироваться погруженный максимум температуры. Это наблюдалось в августе 2018 г., когда на глубине 3-4,5 м температура была на 3° выше, чем у поверхности, и в октябре, когда запасенное летом тепло сохранялось на глубине 4-8 м, и разность температур с поверхностью составляла 10°. В июне 2019 мы наблюдали выровненный профиль температуры, поскольку поверхность еще слабо прогрелась, но на глубине 6-7 м был небольшой локальный максимум температуры.

Придонная вода в самой глубокой части озера от 11 м и ниже в течение всего года имеет одинаковую температуру 7,8°C.

Содержание кислорода

Содержание растворенного в воде кислорода имеет схожую структуру на протяжении всех 4х периодов наблюдений: однородный перемешанный поверхностный слой (до 2-2,5 м), слой солоноватой, насыщенной кислородом воды над «зеленым» слоем (2-6 м) и зона аноксии (ниже 8м).

В зоне ветрового перемешивания концентрация растворенного кислорода в безледный период соответствует насыщению (Рис.1. Вертикальная зональность оз. Могильного в период исследований и профили солености и температуры.)

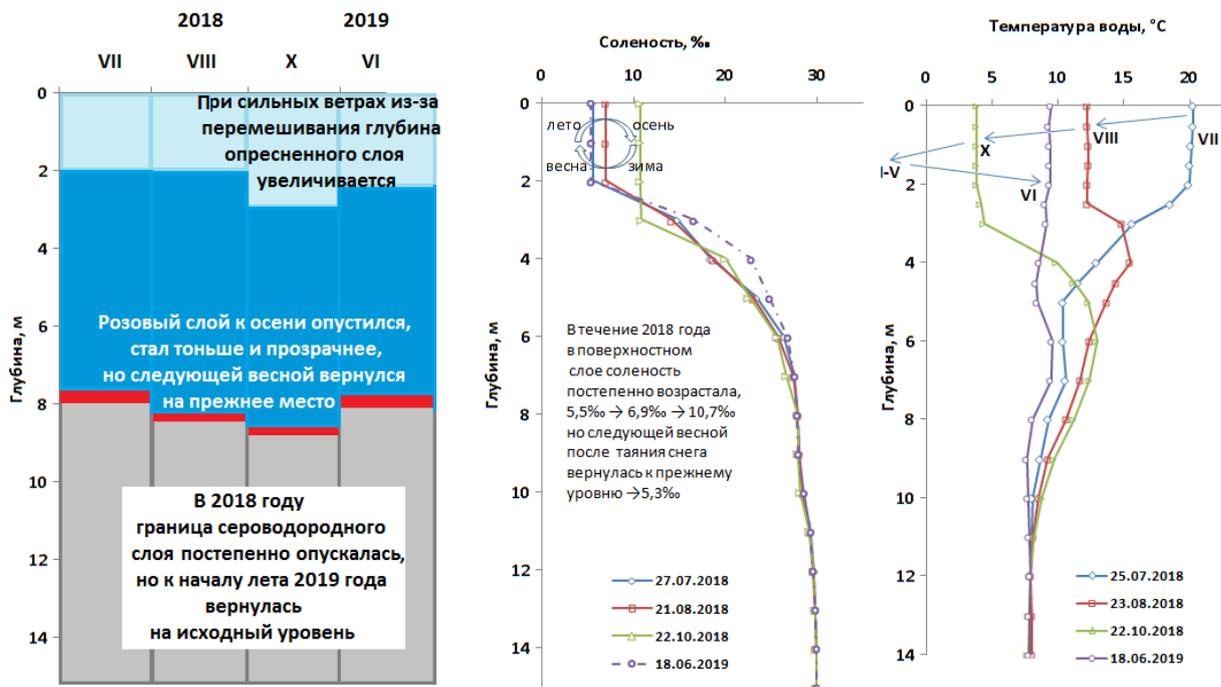


Рис. 1. Вертикальная зональность оз. Могильного в период исследований и профили солености и температуры.

В слое 2-6 м в течение года наблюдается динамика содержания кислорода. В июле и в августе 2018 г. наблюдалось пересыщение кислородом (до 133% насыщения в июле 2018 г.), связанное с деятельностью заключенного там фитопланктона и накоплением этого газа в растворе в отсутствие перемешивания слоев и низкой скоростью диффузии. В осенний период активность микроорганизмов ослабевает, преобладают процессы деструкции, что приводит к превышению потребления кислорода над его продукцией. В весенний период прослеживается небольшое увеличение концентрации кислорода на глубине 2,5-3,5 м. Нужно отметить, что слой смещён на более высокий горизонт по сравнению с июлем 2018 г (4,5-5,5 м), возможно из-за меньшего прогрева воды в нижележащих слоях и менее интенсивного развития организмов в них.

Начиная с глубины 6 м концентрация кислорода быстро уменьшается, и в розовом слое он исчезает. Граница распространения кислорода и сероводорода в течение 2018 года постепенно опускалась: в июле запах сероводорода начинался с глубины 8 м, в августе – с 8,3, в октябре – с 8,5 м, а в июне 2019 г. эта граница вернулась в то же положение, где находилась в июле предыдущего года. Поступательное заглубление нижней границы кислородного слоя в течение вегетационного сезона было отмечено также предыдущими исследователями¹⁶.

¹⁶ Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997-2000 гг.). Мурманск: Изд-во. ПИНРО. 2002, стр. 36.

Розовый слой воды



Фото Д.А. Воронова

Слой воды розового цвета с аноксигенными фототрофными бактериями летом имеет значительно более интенсивную окраску, чем в осенний период. Несмотря на анаэробный образ жизни бактерий, которые придают ему цвет, розовый слой не целиком погружен в сероводород: верхняя его часть располагается в микроаэробных условиях, а нижняя – в анаэробных (Рис. 2. Фотографии пробирок с пробами воды из разных горизонтов оз. Могильного, отражающие положение розового слоя.). Но максимум интенсивности цвета приходится на анаэробную часть розового слоя. Коричнево-окрашенные зеленые серные бактерии, доминирующие в этом слое, могут выдерживать присутствие кислорода в небольшом количестве, а кроме того, активно используют его для фотосинтеза и тем самым уменьшают его количество в слое своего обитания.

оз. Могильное

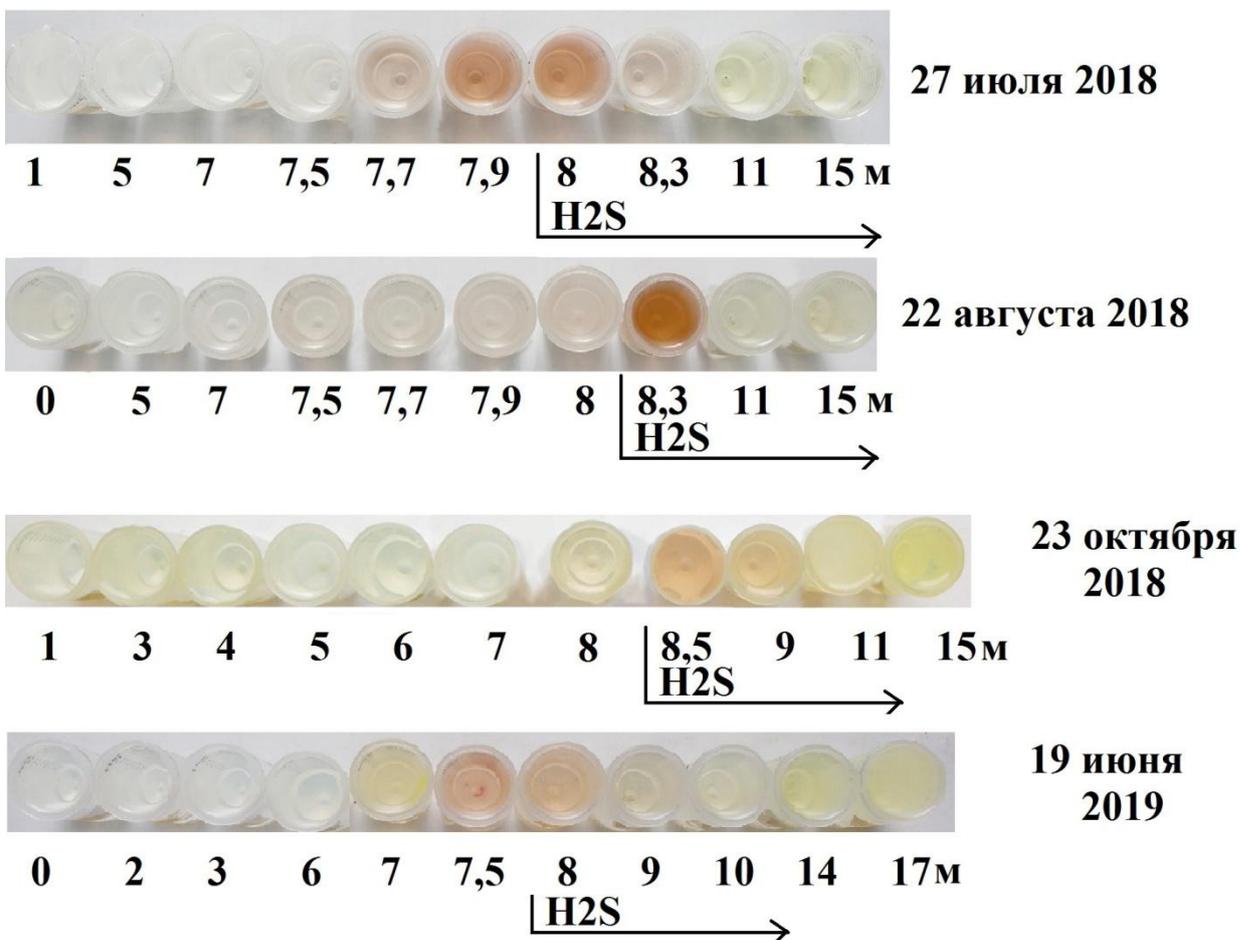


Рис. 2. Фотографии пробирок с пробами воды из разных горизонтов оз. Могильного, отражающие положение розового слоя.

Освещенность на разной глубине

Из-за температурных ограничений прибора для измерения освещенности, ее определяли только в летнее время. Количество света на поверхности воды зависит от высоты стояния солнца: в июле оно было максимальным, несколько меньше – в июне и совсем небольшим в августе (Рис. 3. Вертикальные профили растворенного в воде кислорода, освещенности, рН и окислительно-восстановительного потенциала). Верхние полметра воды поглощают около 50% света, до глубины 5 м доходит 10%, до розового слоя доходит 1-2%, и он поглощает остатки видимой человечески глазом части спектра. Ниже розового бактериального слоя условия афотические. Таким образом, бактериальный слой усиливает стратификацию, не пропуская солнечный свет и препятствуя прогреву нижележащих горизонтов.

Кислотно-щелочная реакция среды

Профиль рН в любое время года состоит из верхней щелочной части (8,5-8,7), соответствующей миксолимниону, и нейтральной нижней части (7,1-7,2) (Рис.3. Вертикальные профили растворенного в воде кислорода, освещенности, рН и окислительно-восстановительного потенциала.). Закисление начинается еще в аэробной зоне на глубине 6-7 м и связано, вероятно, с деятельностью микроорганизмов-деструкторов. Это подтверждается и содержанием растворённого в воде кислорода, который летом имеет чётко выраженный пик на глубинах 3,5-5,5 м, а в осенний период имеет практически одинаковые концентрации по всей толще миксолимниона. При массовом развитии фитопланктона чуть выше этой глубины иногда наблюдалось локальное повышение рН, обусловленное связыванием карбонатов при фотосинтезе.

Окислительно-восстановительный потенциал

По окислительно-восстановительным условиям толща водоема делится на верхнюю зону с высокими положительными значениями и нижнюю – с высокими отрицательными. Скачок Eh настолько резкий, что на расстоянии 10-20 см потенциал может различаться на 0,4 вольта; а разность потенциалов между поверхностным и придонным слоем – около 0,5 вольта (Рис. 4. Вертикальные профили растворенного в воде кислорода, освещенности, рН и окислительно-восстановительного потенциала).

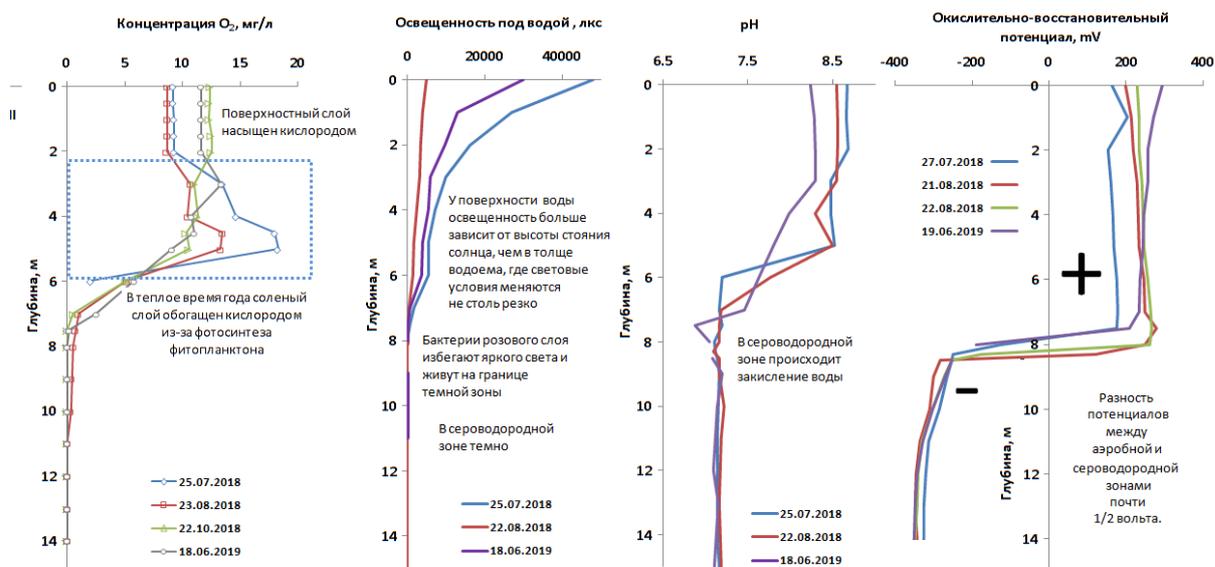


Рис. 4. Вертикальные профили растворенного в воде кислорода, освещенности, рН и окислительно-восстановительного потенциала.

Выводы по разделу 2.1.1.

1. В 2018-2019 гг. оз. Могильное имело вертикальную структуру, которая характеризует его как меромиктическое озеро.
2. В летнее время миксолимнион имеет глубину 2 м, осенью его глубина увеличивается до 2,5 м. Соленость миксолимниона в 2018-2019 гг. варьировала в диапазоне 5,3-10,7‰. По сравнению с 2000-ми годами¹⁷ его глубина уменьшилась на 1 м, а соленость возросла на несколько единиц.
3. Соленость миксолимниона испытывает сезонную цикличность с диапазоном 5 единиц; минимум – в начале лета, максимум – осенью.
4. Из-за активного фотосинтеза фитопланктона в пределах соленой аэробной части зоны в летнее время возникает прослойка, в которой, в отсутствие конвекции, накапливается кислород, и рН смещена в щелочную сторону.
5. Между галоклином (скачком солености) и хемоклином (переходом в анаэробную зону) во второй половине лета зарегистрирован погруженный максимум температуры, долго сохраняющий остаточное тепло после летнего прогрева верхней части водоема.
6. Граница аэробной и анаэробной зон поднялась на 1 м по сравнению с 2000-ми годами. В 2018-2019 гг. она располагалась между 7,9 и 8,5 м. Летом хемоклин поднимался, осенью опускался.
7. Как и в прежние годы, в хемоклине оз. Могильного существует прослойка розового цвета; ее положение испытывает колебания вместе со всем хемоклином.
8. На границе аэробной и анаэробной зон происходит резкая смена окислительных условий на восстановительные, понижение рН на одну единицу и световые условия сменяются афотическими. Измерение освещенности под водой в этом озере выполнено впервые.
9. В настоящий момент сероводородная зона занимает половину глубины озера.
10. Скачок электрохимического потенциала в хемоклине на расстоянии 10 см достигает 220-400 вольт.

2.1.2. Вертикальное распределение мезо зоопланктона на точке мониторинговых наблюдений в самой глубокой части озера (N 69°19.09', E 34°21.01')

Авторы: Стогов И.А., Громова А.Д., Мовчан Е.А., Стрелков П.П., Усов Н.В. (Санкт-Петербургский государственный университет).

Методы

Пробы зоопланктона были отобраны двумя способами: вертикальной сетью Джеди площадью входного отверстия 0,05 кв.м из сита 100 мкм с горизонтов 0-3, 3-8 и 8-15 м в июле, августе, октябре и июне, и насосным методом через каждый метр путем фильтрации 50 л воды через сито ячеей 100 мкм в августе и октябре. Пробы зафиксированы и обработаны по стандартной методике.

Результаты

Август 2018 г.

¹⁷ Strelkov P., Shunatova N., Fokin M., Usov N., Fedyuk M., Malavenda S., Korsun S. (2014). Marine Lake Mogilnoe (Kildin Island, the Barents Sea): one hundred years of solitude // *Polar Biology*, 37(3), 297-310.

Результаты сетного отбора проб

В июле 2018 г. (пробы обработаны Н.В. Поляковой) в составе зоопланктона отмечено 5 таксонов (*Pleopis poliphemoides*, личинки *Polychaeta*, *Pseudocalanus acuspes*, *Tisbe furcata* и *Podon leucartii*) с общей численностью 4,5, 34 и 3 тыс.экз./куб.м в верхнем, промежуточном и нижнем горизонтах, соответственно. В августе 2018 г. (пробы обработаны И.А.Стоговым и А.Громовой) в составе зоопланктона отмечено 8 таксонов, преобладали личинки полихет сем. *Spionidae*, численность которых в среднем слое воды в среднем по трем стандартным станциям составила свыше 120 тыс.экз./куб.м, и веслоногие ракообразные *Pseudocalanus acuspes* (свыше 25 тыс.экз./куб.м) (табл. 1).

Таблица 1. Структурные показатели зоопланктона оз. Могильное в августе 2018 г.

Организмы	Среднее В слое 0-3 м		Среднее В слое 3-8 м		Среднее В слое 8-15 м	
	N	B	N	B	N	B
<i>Synchaeta tamara</i>	13	0,1	0	0,0	0	0,0
<i>Pleopis polyphemoides</i> (Podon)	178	5,0	127	3,5	0	0,0
<i>Centropages hamatus</i>	0	0,0	1109	68,8	33	2,1
<i>Pseudocalanus acuspes</i>	438	25,4	25413	1474,0	304	17,6
copepoditi Copepoda	173	2,1	3936	47,2	98	1,2
nauplii Copepoda	93	0,2	2624	5,2	85	0,2
<i>Tisbe (Idyaea) furcata</i>	0	0,0	47	1,1	5	0,1
<i>Cyanea arctica</i>	22	6,2	0	0,0	4	1,2
Spionidae larvae	476	6,7	121008	1694,1	2350	32,9
Gastropoda larvae	22	0,2	0	0,0	0	0,0
Всего	1416	45,8	154264	3294,0	2880	55,2

Результаты дробного отбора проб по вертикали с помощью насоса

В августе 2018 г. сетной способ отбора проб был дополнен насосным, что позволило более подробно исследовать распределение зоопланктона по глубинам.

Величины обилия преобладающих форм зоопланктона, полученные насосным и сетным способами, были довольно близки. Наиболее крупные представители планктона - медузы *Cyanea arctica* – отмечены только в сетных пробах. Численность пелагических личинок полихет *Polydora ciliata* и *Pygospio elegans*, доминирующих в планктоне, в среднем слое воды (3-8 м) по оценкам насосом и сетью изменялась в пределах 120-190 тыс.экз./куб.м, взрослых копепод *Pseudocalanus acuspes* – 10-25 тыс.экз./куб.м. Общая численность зоопланктона здесь колебалась в пределах 150-220 тыс.экз./куб.м, в поверхностном слое воды (0-3 м) же была существенно ниже и составила лишь 1,4-2,6 тыс.экз./куб.м.

Насосный способ отбора проб позволил уточнить вертикальное распределение планктонных беспозвоночных. В среднем слое воды, где зоопланктон наиболее обилен, пелагические личинки полихет семейства *Spionidae* преобладали на глубинах 7-8 м, где достигали численности 179 тыс.экз./куб.м. Взрослые, копеподитные и науплиальные стадии копепод *P. acuspes* сосредоточены на глубинах 3-5 м при численности до 16 тыс.экз./куб.м (Рис. 5. Доля основных таксонов в общей численности зоопланктона оз. Могильное в слое 0-10 м в августе 2018 г. (насосный метод пробоотбора).). В октябре 2018 г. вертикальное распределение зоопланктона носило сходный характер - личинки спионид также преобладали на глубинах 6-7 м, где их численность составляла до 177

тыс.экз./куб.м, а взрослые и ювенильные веслоногие ракообразные *P. acuspes* – на глубинах 4-5 м при численности 25-30 тыс.экз./куб.м.

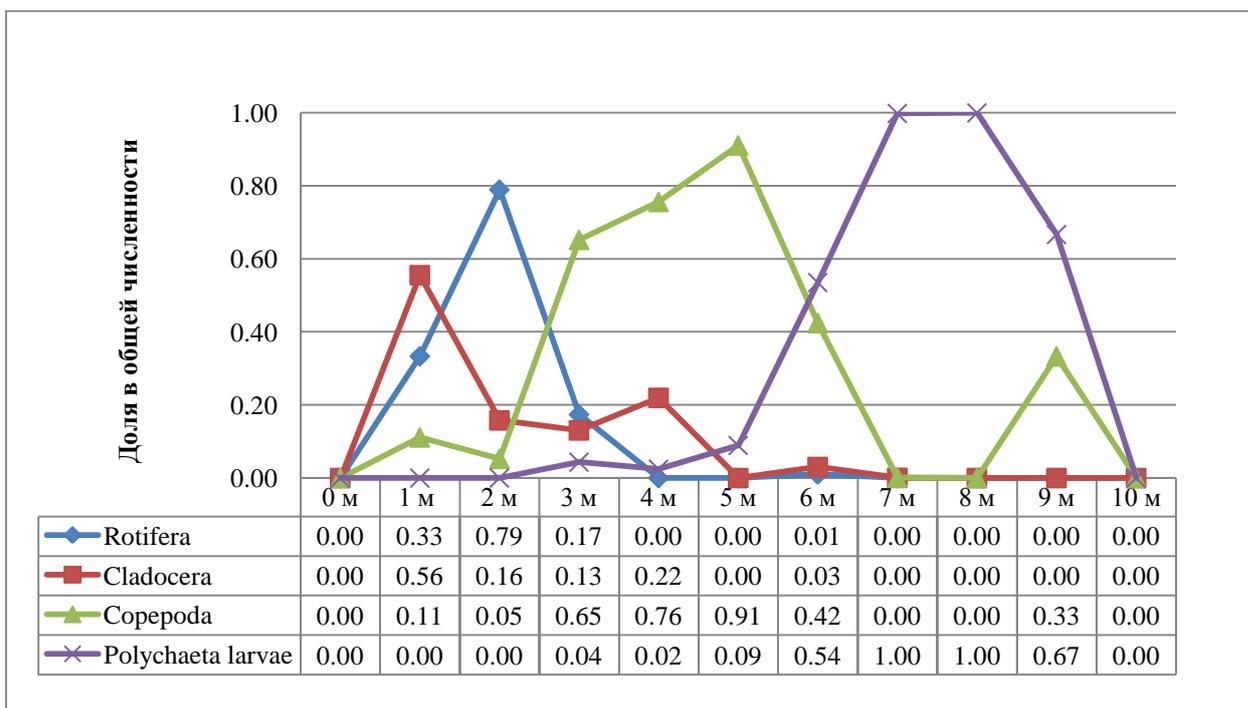


Рис.5. Доля основных таксонов в общей численности зоопланктона оз. Могильное в слое 0-10 м в августе 2018 г. (насосный метод пробоотбора).

Таким образом, максимум численности разных доминирующих форм зоопланктона приурочен к разным глубинам. Ветвистоусые раки концентрируются на глубине 1 м, коловратки – на 2 м, на глубине 3-5 м доминируют веслоногие раки, а личинки полихет концентрируются возле самого хемоклина, и там же есть дополнительный пик веслоногих рачков. Расхождение доминирующих форм зоопланктона по глубинам, возможно, связано с особенностями их питания и требует специальных исследований.

Июнь 2019 г.

В июне 2019 г. (пробы обработаны А.Громовой и И.А.Стоговым) зоопланктон озера Могильное характеризовался наличием необычно большого, по сравнению с сезоном 2018 г., количества пресноводных форм – коловраток *Asplanchna priodonta*, *Keratella quadrata* и *Synchaeta tamara*, а также ветвистоусых ракообразных рода *Bosmina* (табл. 2).

Таблица 2. Структурные показатели зоопланктона оз. Могильное в июне 2019 г.

Организмы	Среднее В слое 0-2 м		Среднее В слое 2-7 м		Среднее в слое 7-15 м	
	N	B	N	B	N	B
<i>Asplanchna priodonta</i>	93	3,55	0	0	0	0
<i>Keratella quadrata</i>	1103	1,32	0	0	5	0,01
<i>Synchaeta tamara</i>	100	1,10	0	0	0	0
<i>Bosmina sp.</i>	350	11,20	0	0	0	0
<i>Pleopis polyphemoides</i> (Podon)	120	4,08	2480	84,32	155	5,27
<i>Pseudocalanus acuspes</i>	5063	324,05	79560	5091,84	2540	162,56
<i>Tisbe (Idyaea) furcata</i>	160	5,76	0	0	0	0
nauplii Copepoda	8140	40,70	31680	158,40	175	0,88
<i>Rathkea octopunctata</i>	0	0	73	36,67	0	0
Spionidae larvae	480	26,88	413	23,15	123	6,86
всего	15610	418,64	114207	5394,37	2998	175,57

Сопоставление полученных данных с предыдущими материалами

Эти данные дополняют большой материал, собранный сотрудниками и студентами СПбГУза последние полтора десятка лет в ходе экспедиций на оз. Могильное, позволяющий охарактеризовать структуру зоопланктона этого уникального водоема.

По данным 2003-2007 гг. (пробы обработаны Н.В.Усовым) в зоопланктоне озера Могильное обнаружено 10 видов и таксономических группировок более высокого уровня. Из них морских видов – 5 (*Rathkea octopunctata*, *Cyanea arctica*, *Pseudocalanus acuspes*, *Centropages hamatus*, личинки полихет сем. Spionidae), солоноватоводных – 3 (*Podon leuckarti*, *P. polyphemoides*, *Tachidius discipes*), пресноводных – 2 (*Keratella quadrata*, *Bosmina sp.*).

В аналогичный сезон (июль) планктон был исследован еще в начале XX века: 29.07.1900 – Линко¹⁸, 25.07.1901 – Шаханиным¹⁹, 29-30.07.1906 – Брейтфусом²⁰, 22.07.1909 – Дерюгиным²¹ (1925) и Шаханиным, 14.07.1915 – Рыловым²². Кроме того, мы располагаем собственными данными от 29.07.2004.

Меньше всего видов отмечено в 1909 и 1900 гг.: 4 и 5 форм, соответственно. Резко выделяется 1915 г. с 12-ю видами коловраток, что, вероятно, определяется особенностями отбора проб: большинство коловраток в тот год было найдено в пробах, взятых у самого берега мюллеровским сачком. Однако в тот год не была обнаружена *Keratella quadrata*, в массе встречаемая в 2007 г и в августе 2003 г. Данный вид не был встречен и в июле 2004 г, хотя орудия и методика сборов зоопланктона не отличалась от использованной в 2007 и 2003 гг.

¹⁸ Линко Я.К. Исследования над составом и жизнью планктона Баренцова моря // Эксп. для Науч.-пром. иссл. у берегов Мурмана.

¹⁹ Шаханов Н.И. О морских элементах зоопланктона оз. Могильного // Тр. Петрогр. Обще. Естеств., т. XLII, в.1, 1916.

²⁰ Брейтфус Л.Л. Экспедиция для Научно-Пром. Исслед. у берегов Мурмана.

²¹ Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцовом море) // Труды Петергофского естественно-научного института. №2, Л., 1925.

²² Рылов В.М. К сведениям о пресноводной фауне оз. Могильного (Мурман, ос. Кильдин) // Тр. И. СПб. Общ. Естеств., т. XLVL, в.1, 1915.

Второй интересный факт касается массовых в бассейне Северной Атлантики циклопов *Oithona similis*: в озере они обнаружены только в 1906 г., причем, в разные сезоны. Ни до, ни после этот вид не был отмечен в планктоне озера Могильное, хотя он является самым массовым в Кильдинской салме и по численности превосходит веслоногих рачков рода *Pseudocalanus*.

Наибольшая численность морских видов в 2007 г. отмечена в слое 5-7,5 м: 4 июля она достигала 22000 экз./м³. Вертикальное распределение планктонных животных соответствует профилю солености: солоноватоводные виды обитают в поверхностном 5-метровом слое, морские не поднимаются выше 2,5 м.

Распределение зоопланктона в оз. Могильном в 2007 г. можно сравнивать с ситуацией в июле 2004 г, когда исследования велись по той же схеме. По сравнению с 2007 г. численность солоноватоводных организмов в 2004 г. была значительно выше в промежуточном и придонном слоях; в поверхностном слое значения этого показателя практически совпадают. Этот факт можно объяснить высоким обилием *Podon polyphemoides* в 2004 г. Обилие морских видов в 2004 г в промежуточном слое превышало аналогичные показатели для 2007 г. более чем в 2 раза.

В этот же период были обнаружены резкие отличия как видового состава, так количественных характеристик в озере Могильное и Кильдинской Салме. Для сопоставимости данных мы исключили из анализа верхний опресненный (0-2,5 м) и придонный сероводородный слои в озере. Видовой состав озерного планктона значительно беднее морского – 10 видов против 24. Но по суммарной численности планктона озеро намного превосходит прилегающую морскую акваторию. Более того, численность общих в обеих акваториях видов в озере на порядки выше. Особенно большие различия наблюдаются в численности рачков рода *Pseudocalanus*: 20 экз./м³ в море против 11360 экз./м³ в озере.

Причину качественных различий объясняет сама структура озера Могильного, где жизнь морских организмов «втиснута» в узкие (толщина слоя всего 6-7 метров) рамки между почти пресным поверхностным слоем и безжизненным сероводородным слоем у дна. Далеко не все животные могут существовать в таких условиях, в силу особенностей своего жизненного цикла, поведения и питания. Количественное же превосходство озера можно объяснить относительной стабильностью условий в озере: здесь нет мощных течений и штормов, водоем лучше прогревается. Так, средняя температура в июле 2007 г. на поверхности в озере была 11,1°, а в море 7,6°С; в 2004 г. соответствующие значения были 17,8° и 13,2°С, в июле 2018 г. 18,1-20,3°С и 13,6°С соответственно.

В пелагиали озера Могильное в конце июля 2015 г. (пробы обработаны И.А.Стоговым) отмечено 10 таксонов планктонных беспозвоночных. В целом для всего озера Могильное в этот период в зоопланктоне преобладали коловратки рода *Synchaeta* (причем около 20 процентов самок имели 1-2 яйца), личинки полихет сем. Spionidae (скорее всего, рода *Polydora*) и науплильные стадии Copepoda (табл. 3-4).

В наиболее продуктивном слое воды от 3 до 7(8) м средняя численность зоопланктона составляла около 19,1 тыс.экз./куб.м, биомасса – 1,04 г/куб.м, в поверхностном и придонном горизонтах численность была более чем на порядок ниже и не превышала 1400 экз./куб.м, биомасса – менее 160 мг/куб.м (табл. 3-4).

Таблица 3. Средняя по станциям М1-М3 численность (экз./куб.м) зоопланктона по горизонтам в конце июля 2015 г.

Организмы	0-3 м	3-7(8) м	7(8)-14(15) м
<i>Cyanea arctica</i>	0	4	0
<i>Polydora</i> sp. larvae	20	4084	924
Veliconcha Bivalvia	0	60	18
<i>Synchaeta</i> sp.	706	6406	0
<i>Synchaeta</i> sp. ov	142	1220	0
<i>Podon leuckarti</i>	102	232	0
<i>Podon polyphemoides</i>	294	1438	0
<i>Bosmina</i> sp.	8	0	0
<i>Centropages hamatus</i>	0	274	14
<i>Idyaea furcata</i>	64	32	0
<i>Pseudocalanus acuspes</i>	0	1456	160
Nauplii Copepoda	80	3870	140
Общая	1418	19076	1256

Структура зоопланктона на разных горизонтах существенно различна (табл. 1-2). Массовые формы зоопланктона на поверхности – коловратки *Synchaeta* и ветвистоусые ракообразные *Podon polyphemoides*. В среднем слое – коловратки *Synchaeta*, личинки полихет *Polydora* и науплильные стадии Copepoda. В придонном слое – личинки полихет семейства Spionidae *Polydora* и веслоногие ракообразные *Pseudocalanus acuspes*.

Таблица 4. Структурные показатели зоопланктона оз. Могильное 22.07.2015.

станция	Горизонт, м	Количество видов	Численность, экз./куб.м	Биомасса, мг/куб.м	Доминанты
М1	0-3	5	2080	52,4	<i>Synchaeta</i> sp. <i>Podon polyphemoides</i>
	3-7	8	23780	908,2	<i>Polydora</i> sp. larvae <i>Pseudocalanus acuspes</i>
	7-15	2	2760	380,2	<i>Polydora</i> sp. Larvae
М2	0-3	5	1160	42,6	<i>Podon polyphemoides</i> <i>Polydora</i> sp. larvae <i>Synchaeta</i> sp.
	3-8	8	14020	745,2	<i>Polydora</i> sp. larvae <i>Pseudocalanus acuspes</i>
	8-14	3	240	14,8	<i>Pseudocalanus acuspes</i> <i>Polydora</i> sp. Larvae
М3	0-3	4	1020	26,6	<i>Podon polyphemoides</i> <i>Synchaeta</i> sp.
	3-8	7	19420	1471,6	<i>Polydora</i> sp. Larvae
	8-15	4	760	82,4	<i>Polydora</i> sp. Larvae

Выполненные исследования указывают на то, что специфика условий существования в озере (маленький замкнутый водоем с мощным придонным сероводородным и опресненным поверхностным слоем) определяет бедность видового состава зоопланктона. Однако, небольшой объем воды и отсутствие активной гидродинамики создает лучшие условия прогрева, что способствует более высокой продуктивности озера Могильное по срав-

нению с морем. Межгодовая вариабельность гидрологических параметров и сезонные и межгодовые изменения структурных показателей зоопланктона в озере, скорее всего, связана с изменчивостью метеорологических условий в районе о.Кильдин.

На основании имеющихся данных мы не можем утверждать, что за столетие, прошедшее с начала исследований в озере, произошло существенное изменение структуры зоопланктона. Более вероятно, что различия в списках видов, встреченных в разные годы, связаны с различием методик и орудий лова, а также метеоусловий и гидрологического режима.

Выводы по разделу 2.1.2.

1. Продуктивность зоопланктона в озере Могильном выше, чем в море благодаря отсутствию активной гидродинамики и лучшим условиям прогрева.
2. Численность и биомасса зоопланктона в августе 2018 г. и июне 2019 г. были на порядок больше, чем во время предыдущих исследований в июле 2007 и 2015 г.
3. В августе 2018 г. в планктоне зарегистрировано 8 таксонов, что несколько меньше, чем в 2004-2015 гг. Пресноводных видов не обнаружено, а солоноватоводная фауна была представлена всего одним видом – *Synchaeta tamara*.
4. В июне 2019 г. количество таксонов стало, наоборот, больше обычного (12) за счет пресноводных видов, появление которых совпало с весенним опреснением миксолимниона до 5,3‰. Пресноводный зоопланктон был представлен 4 видами: коловратками *Asplanchna priodonta*, *Keratella quadrata* и ветвистоусыми ракообразными рода *Bosmina* и концентрировался в слое 0-2 м, солоноватоводный – коловраткой *Synchaeta tamara*.
5. Наибольших количественных показателей зоопланктон достигает в среднем соленом аэробном слое, где его численность на два порядка больше, чем в верхнем опресненном слое, а биомасса в августе 2018 г была на два порядка, а в июне 2019 г. – на порядок выше по сравнению с миксолимнионом.
6. Дробное изучение распределения зоопланктона с разрешением 1 м в августе 2018 г. показало, что ветвистоусые раки концентрируются на глубине 1 м, коловратки – на 2 м, на глубине 3-5 м доминируют веслоногие раки, а личинки полихет сконцентрированы возле самого хемоклина, и там же есть дополнительный пик веслоногих раков.
7. Морские виды нередко образуют скопления в нижней части соленого слоя вблизи границы с сероводородной зоной.
8. Наблюдаемые многолетние изменения в составе зоопланктона оз. Могильного, по нашему мнению, связаны с различием методик и орудий лова, а также метеоусловий и гидрологического режима.
9. При опреснении миксолимниона пресноводная фауна способна быстро восстанавливаться.

2.2. Изучение сезонной динамики температуры воды на разных глубинах с помощью самописцев температуры (непрерывные наблюдения с помощью самописцев температуры с октября 2018 по июнь 2019)

Авторы: В.Н. Василенко, В.А. Ефимов (МГУ им. М.В. Ломоносова), П.П. Стрелков (СПб ГУ; МАГУ).

Методы

Для наблюдений за температурой воды в межэкспедиционный период 23.10.2018 на вертикали с глубиной 15 м была установлена коса с самописцами температур iButton на глубинах 1,7-3,6-5,6-7,6-9,6-13,7 м. Приборы устанавливались в горизонты озера, имеющие выраженные градиенты и в средние части основных водных масс, определенных по ре-

зультатам гидрологической съемки 23.10.2018. Коса была погружена на 1 м от поверхности воды. Отдельный датчик был установлен в специально разработанном пластиковом коробе, прикрепленном к деревянному столбу рядом с озером, для записи температур воздуха в межэкспедиционный период. Датчики iButton имеют точность измерений $0,125^\circ$ и диапазон регистрируемых температур от $-5,5^\circ$ до 26° . Каждый датчик снабжается защитным герметичным коробом. Датчики неразборные. При запуске была задана 4-часовая дискретность записи для экономии батарей самописцев. Снятие косы было осуществлено 15.06.2019.

Результаты

Сопоставление среднесуточных температур воздуха на о. Кильдин в дни с данными метеостанции «Териберка»

В связи с тем, что на о. Кильдин, очевидно, наблюдаются температуры воздуха ниже нижнего предела измерений датчиков, было проведено сопоставление среднесуточных температур воздуха, наблюденных на о. Кильдин в дни с температурами выше $-5,5^\circ\text{C}$ с данными метеостанции «Териберка» (<https://rp5.ru>) за тот же период. Сопоставление было проведено по среднесуточным температурам воздуха, в связи с разной дискретностью измерений на метеостанции и у датчика. Сравнивалось 200 пар значений температур воздуха. В результате показано, что в период с ноября по первую половину июня измеренная на метеостанции температура в 85% случаев соответствует температуре на о. Кильдин.

Получено также уравнение регрессии, для расчета температур над оз. Могильным по данным метеостанции:

$$T_{\text{мог}} = 0,8131T_{\text{Териб}} + 0,3268$$

где,

$T_{\text{мог}}$ – температура воздуха на высоте 2 м у оз. Могильного,

$T_{\text{Териб}}$ – температура воздуха на м/с «Териберка».

Коррелированность значений температур в отдельно взятые месяцы периода с ноября по май составляет более 0,9 (за исключением января, когда большая часть значений температуры воздуха была ниже нижнего диапазона записи логгера). Таким образом, появилась возможность восстанавливать значения температуры воздуха в 2 м над поверхностью оз. Могильного в период с ноября по май с большой точностью. Уравнение рекомендуется использовать в диапазоне температур воздуха по метеостанции от -10° до $+10^\circ$. Высокая связность значений на метеостанции и на острове позволяет считать станцию репрезентативной для о. Кильдин и использовать ее значения в анализе тепловых характеристик водных масс оз. Могильного.

Температурный режим по данным логгеров

Результаты наблюдений логгеров удалось получить для датчиков на глубинах 3,6-5,6-7,6-9,6-13,7 м. Таким образом, появилась возможность для описания температурной ситуации практически во всем озере, за исключением приповерхностного слоя. Глубина перемешивания составляла при съемке 23.10.2018 около 3,5 м.

Среднемесячные характеристики температур воды на глубинах погружения логгеров представлены на рис. 6 «Эпюры среднемесячных температур воды в оз. Могильном в период с ноября 2018 г. по май 2019 г. по данным самописцев температуры воды iButton», а среднесуточные температуры с конца октября до июня – на рис. 7 «Суточная температура воды на разной глубине оз. Могильного с 26.10.2018 по 15.06.2019 г.»

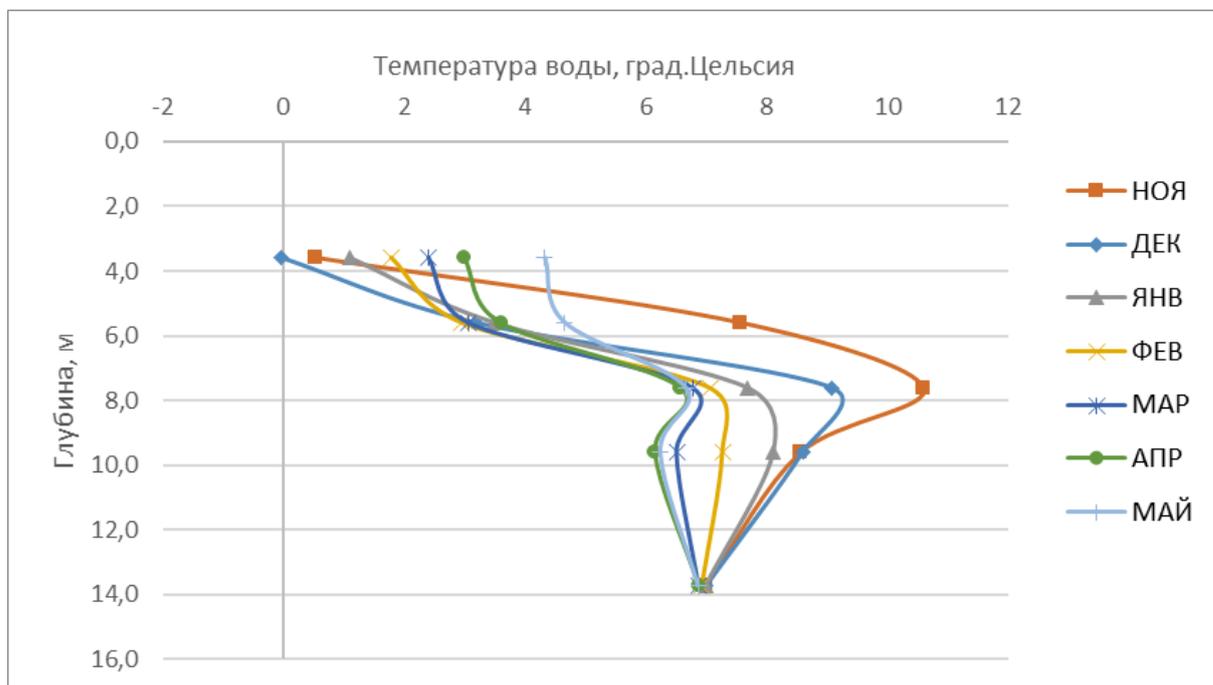


Рис. 6. Эпюры среднемесячных температур воды в оз. Могильном в период с ноября 2018 г. по май 2019 г. по данным самописцев температуры воды iButton.

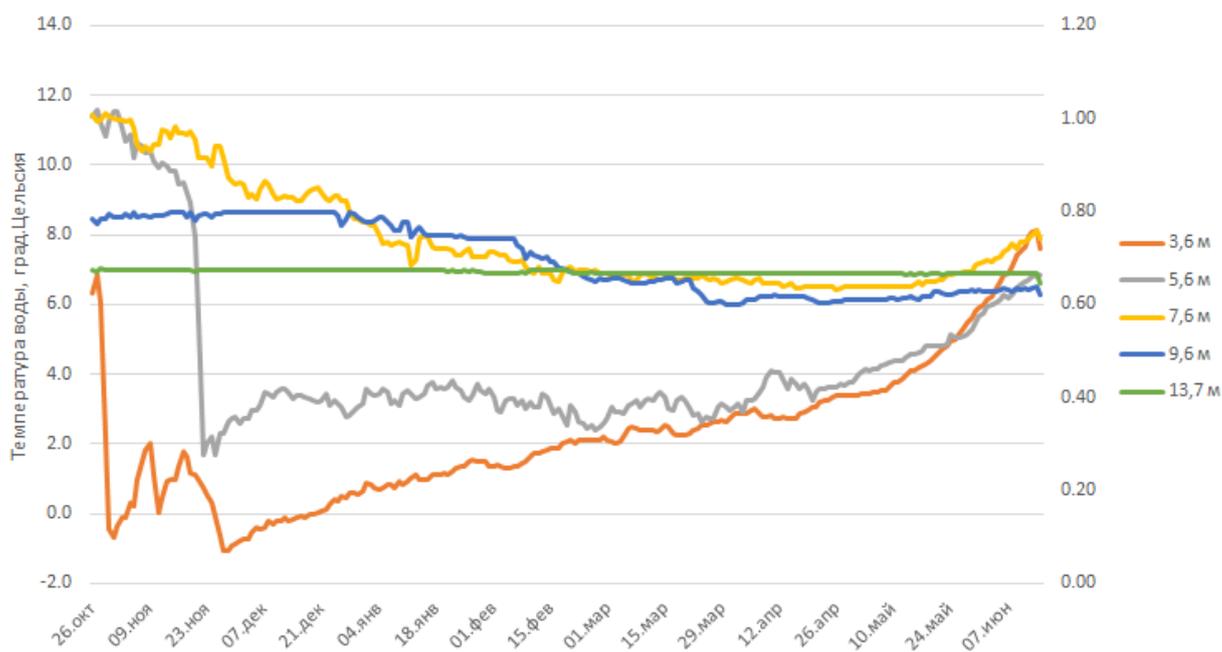


Рис. 7. Суточная температура воды на разной глубине оз. Могильного с 26.10.2018 по 15.06.2019 г.

На этих рисунках видно, что в слое 3,6-7,6 м, то есть в слое с максимальными градиентами различных характеристик, в ноябре-декабре наблюдается выхолаживание водной массы, а начиная с января температуры воды постепенно растут. На глубинах от 9 м до, приблизительно (по осенним данным), 11-12 м с ноября по май температуры воды падают и лишь в мае начинают расти. Температура глубинного слоя воды практически не имеет ни суточного, ни сезонного хода. Различия сезонных характеристик водных масс разных глубин, очевидно, вызваны градиентами солёности, следовательно, и плотности, существ-

вующими в озере. Важно отметить уменьшение межсезонных изменений от поверхности ко дну.

Анализ хода температур воды и воздуха показал следующие результаты. К моменту установки приборов поверхностный слой воды был полностью перемешан, и при дальнейшем падении температуры воздуха температура воды до глубины около 4 м, опустилась до отрицательных значений, однако, вместе с оттепелью 30.10-8.11.2018 г. наблюдался и некоторый рост температуры воды, до 2°, а затем, примерно до 27.11 продолжалось падение температур воды. В горизонте 4-6 м вплоть до 20.11 наблюдалось медленное понижение температуры воды, связанное, судя по всему, с диффузионным выхолаживанием от вышележащего слоя. Однако, 19-21.11.2018 г. произошло резкое падение температуры воды до 2°, практически сравнявшись с температурой вышележащего слоя. Возможной причиной представляется ослабление градиента солености, вследствие выделения солей при ледообразовании, либо усилением интенсивности перемешивания, вызванному достижением обоих горизонтов максимальной плотности воды (в предположении, что соленость воды с момента съемки 23.10.2018 г. не изменилась или изменилась мало). Ледостав на озере установился, судя по всему, в 3 декаде ноября. Ход температур воды и воздуха в поверхностных горизонтах в конце октября - ноябре представлен на рисунке 8 «Суточные температуры воды на различных глубинах оз. Могильного 26.10.-2018-30.11.2018».

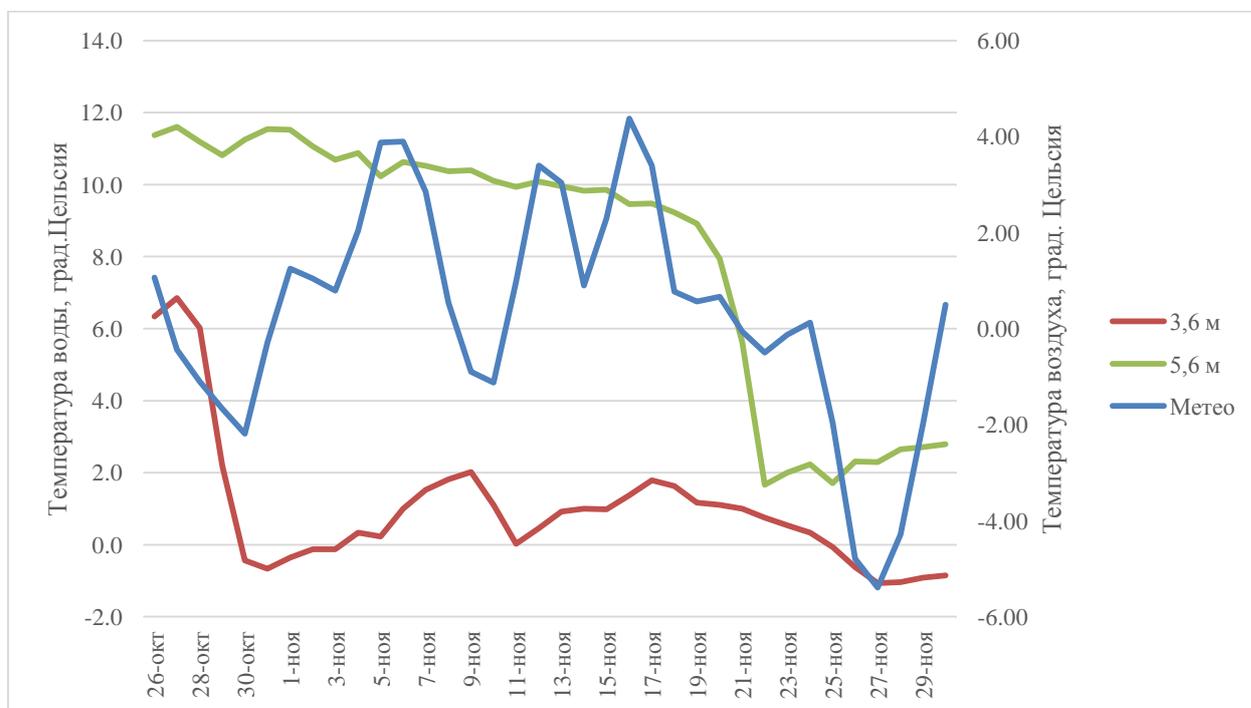


Рис. 8. Суточные температуры воды на различных глубинах оз. Могильного 26.10.-2018-30.11.2018

Поведение температуры воды в более глубоких горизонтах описано выше. Ход температур довольно плавный, хотя в горизонте 7,6 м, в котором, предположительно, происходит поступление морской воды, наблюдается периодическое колебание температур воды, связанное, по-видимому, с поступлением более холодных морских вод. В основном, поступления приурочены к сизигийным приливам.

Поверхностный же слой, уже в феврале, постепенно прогревается. Выдвигается предположение о том, что при высокой повторяемости ветров над озером, происходит выдувание снега, вследствие чего льдом пропускается поток солнечной радиации, при его незначительной толщине. В горизонте 4-6 м, в течение зимы наблюдаются, периодически, и колебания температур воды, вызванные приливами.

Вскрытие озера и очищение его ото льда происходит, судя по всему, во второй декаде апреля-первой декаде мая, в которые начинается интенсивный рост температур в верхних слоях озера. К середине июня рост температур воды наблюдается во всех слоях, до глубины 8-9 м. В глубоких слоях озера температуры практически неизменны.

Водообмен озера с морем зимой

У нас есть сомнения в том, что в зимнее время приток воды из моря в озеро больше, чем летом, как утверждалось в монографии 1975 года. Отсутствие резких колебаний температуры в озере по всем его глубинам после ледостава свидетельствует, скорее, об отсутствии существенных внешних возмущений, как со стороны атмосферы, от которой озеро изолирована льдом, так и со стороны моря. Логгер, установленный на глубине 5,6 м, мог бы зарегистрировать изменения температуры за счет приливных пульсаций, но диапазон колебаний температуры на этом горизонте в декабре, январе и марте не превышал 0,5 градуса, а в феврале хотя и был чуть шире (0,9°), но при этом регистрировал плавное понижение температуры, без скачков. Данные, полученные с помощью датчиков температуры, установленных на всю зиму, указывают на более вероятное ослабление водообмена с морем зимой, чем на его усиление. Это может быть обусловлено образованием ледовой глазури на камнях, которыми сложена литораль, частичным замерзанием воды, хранящейся в теле перемычки, которая больше подвержена влиянию морозов, чем морское дно и толща озера. Больше информации мы получили бы, если бы удалось установить аналогичным образом датчики, регистрирующие не только температуру, но и соленость, хотя они и существенно дороже.

Выводы по разделу 2.2.

1. Данные метеостанции «Териберка» по температуре в 85% случаев соответствуют температуре на о. Кильдин. Предложено уравнение регрессии для расчета температур над оз. Могильным по данным метеостанции.
2. Согласно данным, полученным с помощью датчиков температуры, установленных на всю зиму на разной глубине оз. Могильного, температура воды в соленом аэробном слое воды на глубине 3,6-7,6 м с начала декабря постепенно растет. В хемоклине и в анаэробной зоне до глубины 9 м в течение зимы температура воды постепенно уменьшается. В придонном слое температура постоянна и не имеет ни суточного, ни сезонного хода.
3. Ледостав на озере установился в 3 декаде ноября 2018 г.
4. При ледообразовании наблюдается усиление конвекции и резкое выхолаживание воды выше хемоклина.
5. Водообмен озера с морем в зимнее время ослаблен по сравнению с летом.
6. Вскрытие озера и очищение его ото льда происходит во второй декаде апреля-первой декаде мая.

3. Документация подводных и береговых сообществ и ландшафтов оз. Могильного

3.1.и 3.2. Фото и видеофиксация ландшафтов, донных сообществ и кильдинской трески

Авторы: М.Л. Федюк, С.В. Голдин, Н.Н. Шунатова, И.В. Морозов, П.П. Стрелков (СПбГУ), С.С. Малавенда (МГТУ)

Фотофиксация, легководолазным способом, подводных ландшафтов и биологических сообществ на вертикальных транссектах от уреза воды до границы сероводородного слоя в разных частях озера; видеофиксация, с помощью водолаза-оператора и стационарных подводных камер с интервальной съемкой, поведения животных, в первую очередь кильдинской трески.



Фото Д.А. Воронова

Подводник М. Федюк после погружения в оз. Могильное.

Введение

Первое (и последнее) в истории исследований оз. Могильного подробное картирование бентоса было проведено в 2003-2007 гг.²³. В ходе этих работ, было проведено картирование и количественное описание бентосных сообществ озера, а также, впервые с начала XX века, составлены видовые списки фито- и зообентоса. Согласно выводам работы, макробентос озера включал 34 вида животных и 20 растений, почти вдвое меньше, чем отмечали в начале XX века²⁴. Снижение биоразнообразия объясняли изменениями в среде (губительное для пресноводных организмов осолонение поверхностных вод, флуктуации «сероводородного» слоя), а также стохастическими процессами в изолированных популяциях озерных обитателей. Распределение сообществ в озере связано с типом рельефа, характером осадконакопления, соленостью и газовым режимом. Наиболее богатыми оказались сообщества южного берега, то есть склона перемычки между озером и морем, где просачивается морская вода. Здесь угол наклона дна составляет 45-70 градусов, наблюдаются периодические течения, а заиление дна очень незначительно – между галькой грунт практически песчаный. Только вдоль южного берега вертикальное распределение бентоса характеризуется четкой зональностью и встречается эпифауна, включая «мегабентосные» (т.е. организмы крупнее нескольких сантиметров) виды – мидии *Mytilus edulis*, сабеллидные полихеты *Pseudopotamilla reniformis*, морские анемоны *Metridium senile* и багрянки *Coccotylus truncates*. Вдоль остальных берегов озеро дно пологое, илистое, а бентос, в ос-

²³ Strelkov P., Shunatova N., Fokin M., Usov N., Fedyuk M., Malavenda S., Korsun S. (2014). Marine Lake Mogilnoe (Kildin Island, the Barents Sea): one hundred years of solitude // *Polar Biology*, 37(3), 297-310.

²⁴ Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцовом море) // Труды Петергофского естественно-научного института. №2, Л., 1925.

новном, представлен хирономидами, мелкими полихетами *Polydora ciliata* и ракушками *Macoma balthica*.

Работы экспедиций РГО 2018 – 2019 г.

В ходе работ 2007 г. была проведена фото-документация бентосных сообществ, в том числе, на фиксированных точках. Этот архив, в основном, не опубликованный, позволяет напрямую сопоставлять современный облик сообществ с таковым десятилетней давности. Задачей бентосных исследований экспедиции РГО 2018-2019 гг. была фото-фиксация ландшафтов и биологических сообществ озера на вертикальных транссектах от уреза воды до границы сероводородного слоя в разных частях озера, в первую очередь, в местах исследований 2007 г.

Облик сообществ мелководий северного берега озера за 10 лет не поменялся, за исключением того, что нижняя граница распространения бентоса сместилась с 9 м в 2007 г. до 7 м в 2018 г. Заметные изменения произошли в южной части озера, где отмечено смещение зон обитания видов на меньшие глубины, а также качественные изменения. Центральное сообщество с доминированием актиний *Metridium dianthus* и красных водорослей *Coccotylus brodiei* и *Polysiphoni astricta*, в 2003–2007 гг. населявшее глубины 5–7 м, оказалось на 3–5 м (рис. «Состояние макробентоса озера в 2007 и 2018 гг. А. оз. Могильное, вид с квадрокоптера» В-Е).

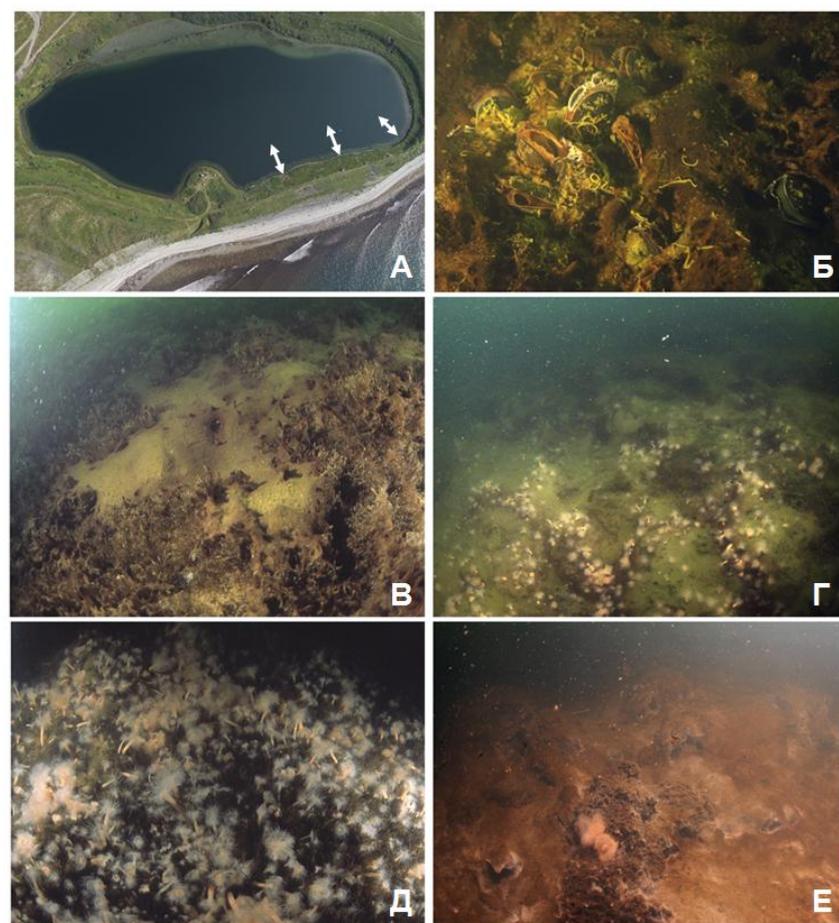


Рисунок 9. Состояние макробентоса озера в 2007 и 2018 гг. А. оз. Могильное, вид с квадрокоптера.

Стрелками показаны бентосные разрезы, документированные фотографиями в разные годы: восточный (N 69°19.07', E 34°20.96'), центральный (N 69°19.02', E 34°21.1') и западный (N 69°19'5, E 34°20'53). Б. Колония мидий *Mytilus*, глубина 3.5 м. В – Е. Характерное состояние сообществ на глубине 3 м (В, Г) и 7 м (Д, Е) в 2007 (В, Д) и 2018 (Г, Е). Фотография А сделана А. Сазоновым, Б – С. Голдиным, остальные – М. Федюком.

Единственная в озере колония крупных сабеллидных полихет *Pseudopotamilla reniformis* (рис. 9 Состояние макробентоса оз. Могильного в 2007 и 2018 гг. Восточный разрез), исчезла. Мы вынуждены констатировать, что озеро лишилось одного из самых эффектных своих обитателей.

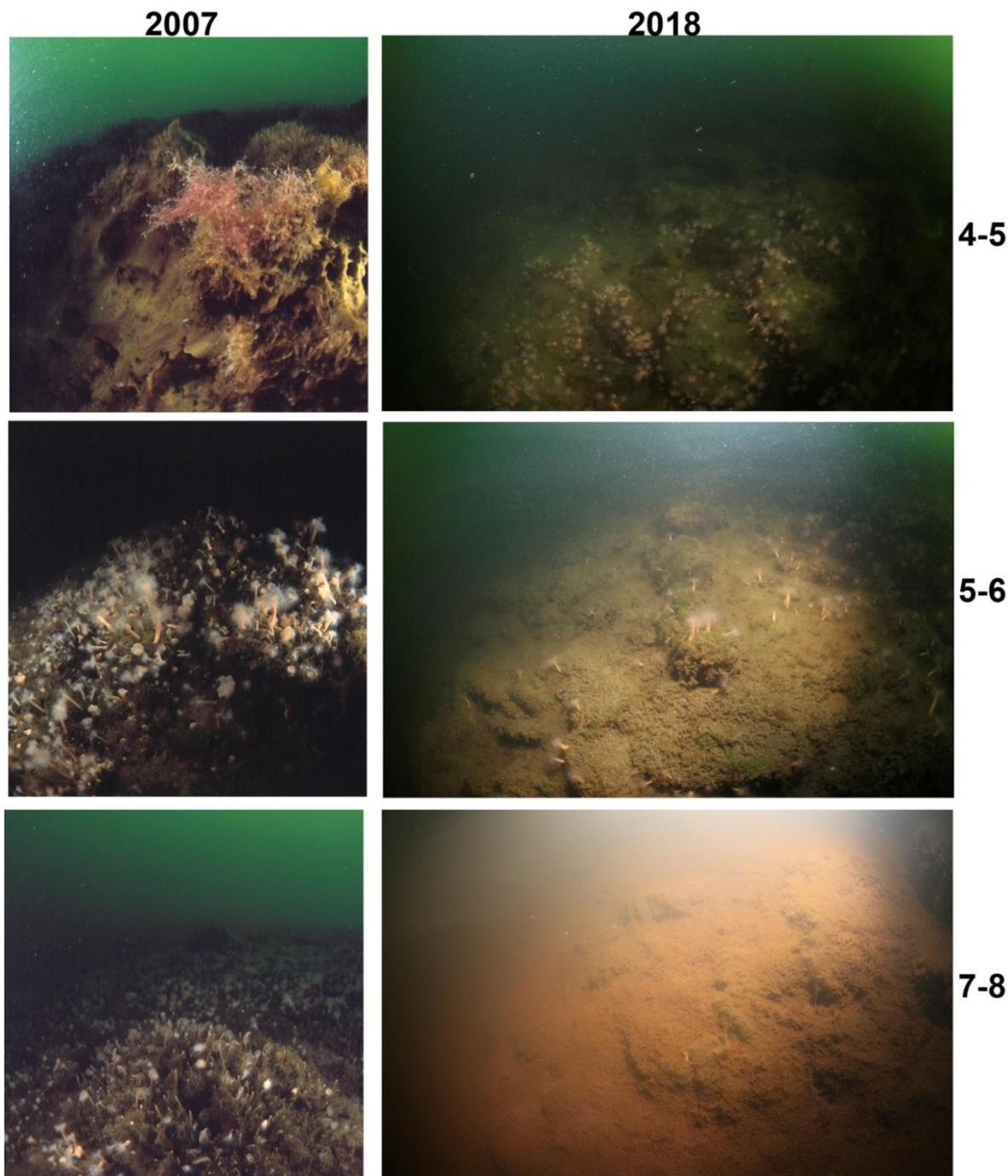


Рисунок. 10. Состояние макробентоса оз. Могильного в 2007 и 2018 гг. Восточный разрез (Восточный разрез, N 69°19.07', E 34°20.96'). Указаны годы и глубина наблюдений. На левой нижней фотографии видны черви *Pseudopotamilla reniformis*.

Также, безрезультатными были целенаправленные поиски массовых в 2003-2007 гг. (на глубине 5-7 м) и в начале века²⁵ двустворчатых моллюсков *Astarte montagui*. Самое глубинное сообщество с доминированием аннелид сем. Tubificidae и Spionidae и асцидий *Molgula citrina* (ранее на 7-9 м) оказалось на 5-7 м, причем туникат мы не наблюдали. Наконец, глубины 1-3 м массово заселили мидии *Mytilus edulis* (рис. 9. Состояние макробентоса озера в 2007 и 2018 гг. А. оз. Могильное, вид с квадрокоптера. 1Б).

²⁵ Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцовом море) // Труды Петергофского естественно-научного института. №2, Л., 1925.

Впервые отмеченные в озере 2004 г., мидии в 2004–2007 гг. были малочисленны и/или малозаметны, скрываясь в толще рыхлого осадка на глубине 5 м. Лучше всего, описанные изменения иллюстрируют фотографии М. Федюка, сделанные на трех разрезах в южной части озера в 2007 и 2018 гг. (рис. «Состояние макробентоса оз. Могильного в 2007 и 2018 гг. Западный разрез», рис «Состояние макробентоса оз. Могильного в 2007 и 2018 гг. Центральный разрез» и рис. «Состояние макробентоса оз. Могильного в 2007 и 2018 гг. Восточный разрез»). О некоторых массовых обитателях и характерных сообществах озера, не попавших на фотографии с разрезов, можно судить по фотографиям на рис. 5. Также, мы прилагаем к отчету видеофайл с «экскурсией» вдоль южного берега озера, а в документ «презентация проекта» помещаем блок фотографий кильдинской трески, полученных с помощью стационарных цейтраферных камер.

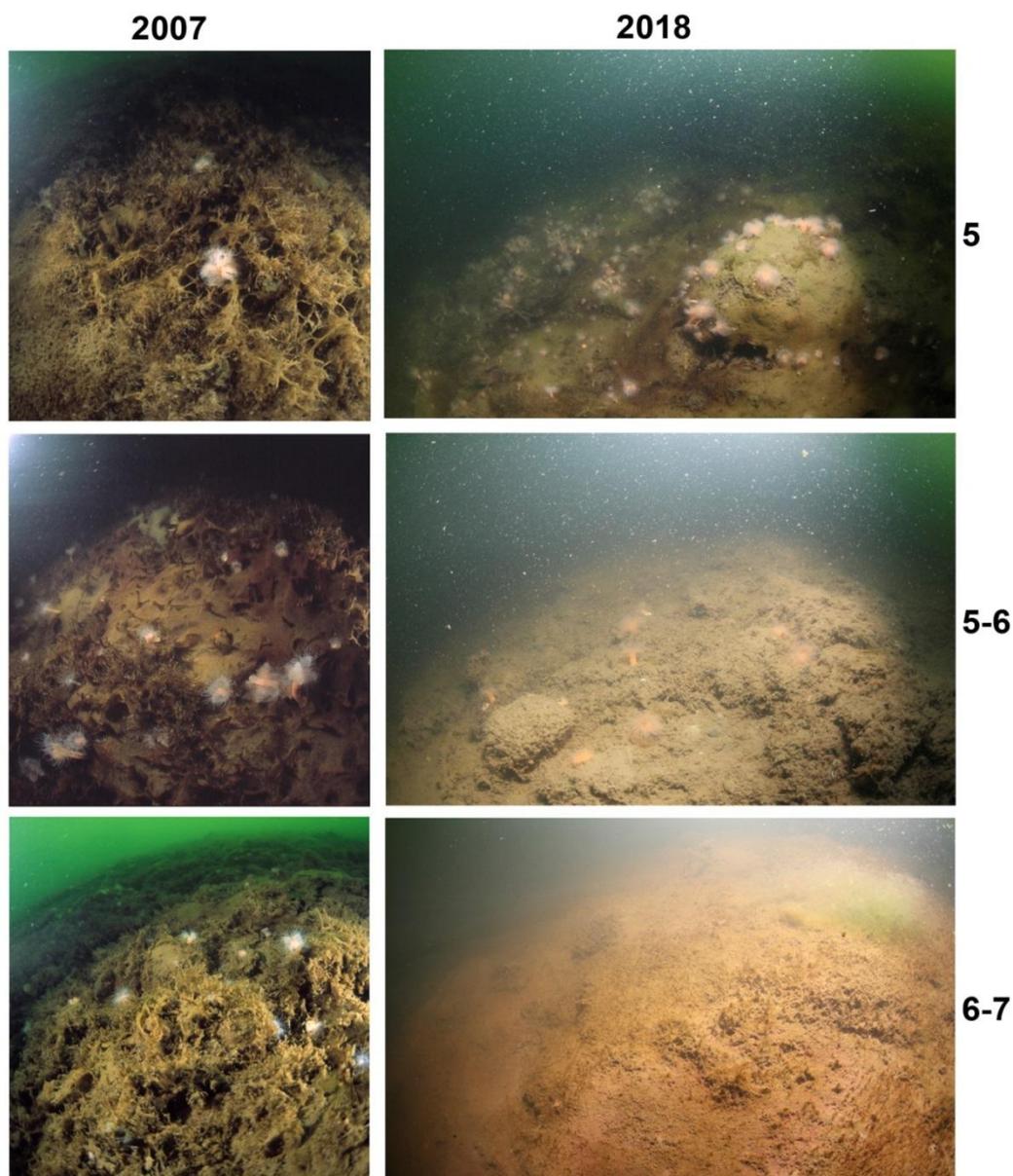


Рисунок.11 Состояние макробентоса оз. Могильного в 2007 и 2018 гг. Западный разрез (N 69°19'5, E 34°20'53). Указаны годы и глубина наблюдений.

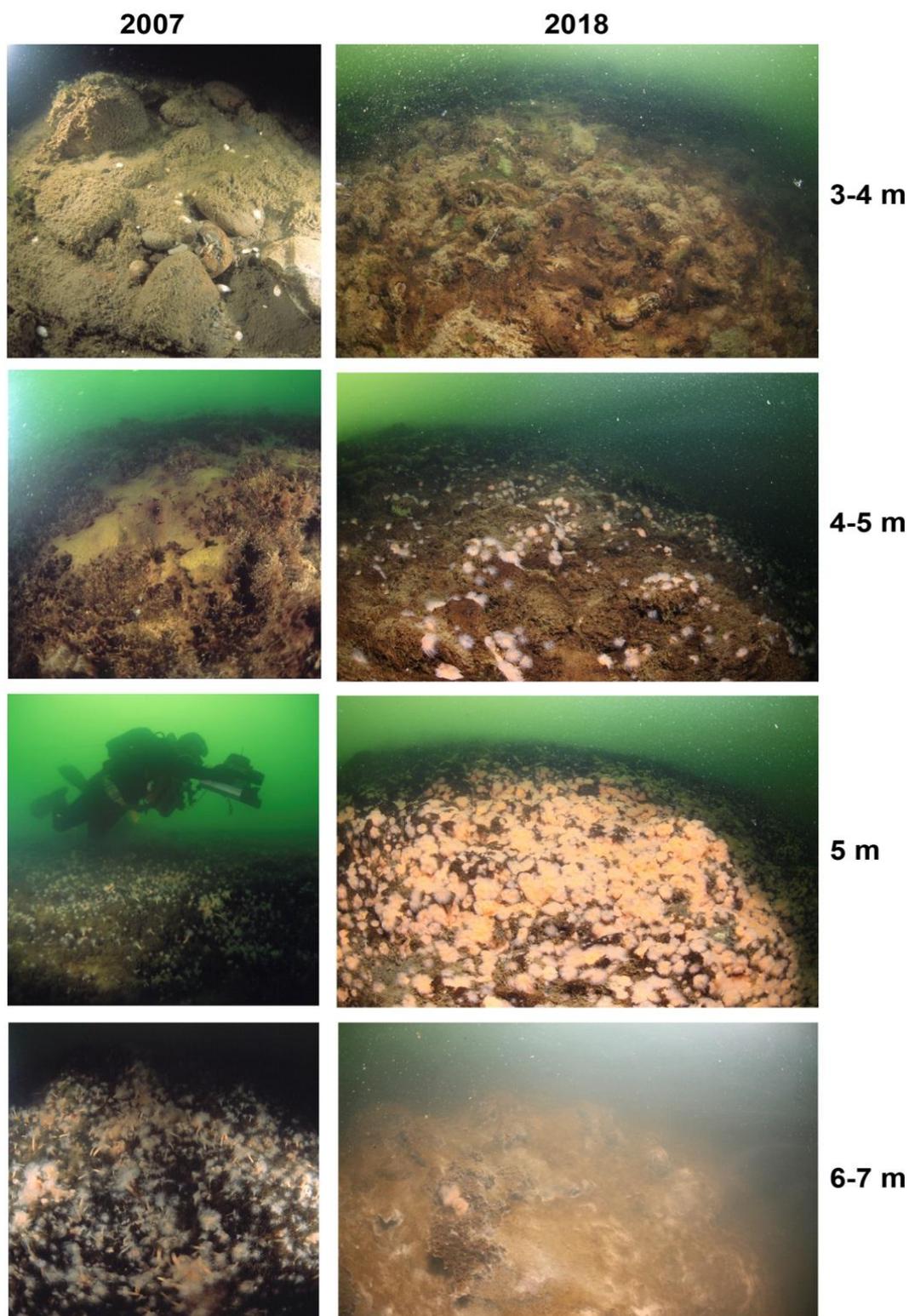


Рисунок 12. Состояние макробентоса оз. Могильного в 2007 и 2018 гг. Центральный разрез (N 69°19.02', E 34°21.1'). Указаны годы и глубина наблюдений.

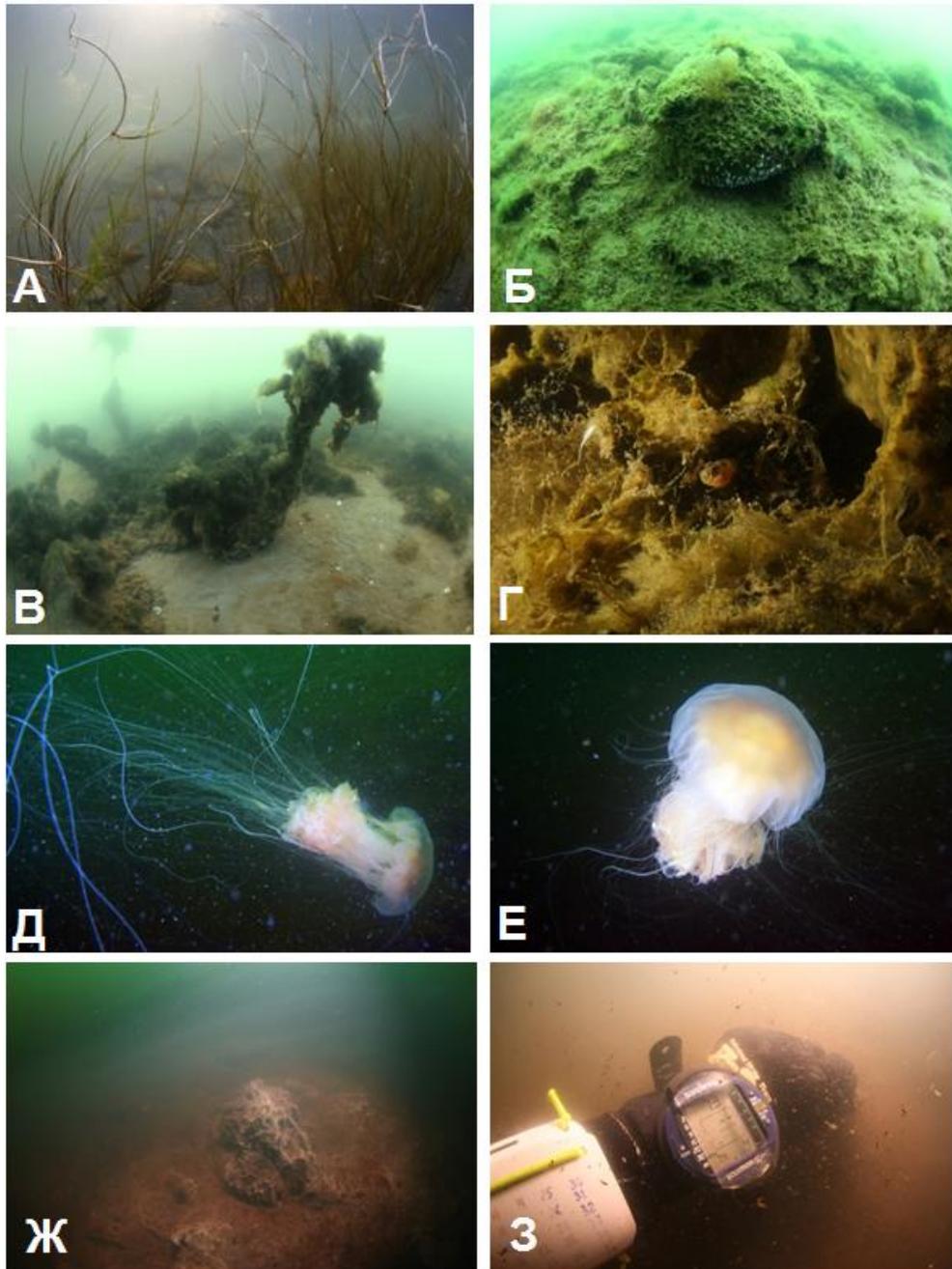


Рисунок 13. Некоторые характерные сообщества и обитатели оз. Могильного. А – глядя на заросли пресноводного растения рдеста гребенчатого (*Stuckenia pectinata*) на мелководье оз. Могильного, трудно поверить, что несколькими метрами глубже кишит морская жизнь; Б, В – мелководья южного (Б) и северного (В) берегов оз. Могильного ус-тланы матами нитчатых водорослей; Г – маслюк *Pholis gunellus*, 3 м; Д, Е – сцифоидная медуза *Scypha capillata*; Ж, З – граница аэробной жизни проходит примерно по 7 м. Слой розовой воды визу-ально воспринимается водолазом как бурый и мутный. Фото Д и Е – И. Морозова, июнь 2019, остальные М. Федюка, июль 2018.

Выводы

За 10 лет, прошедших со времени исследований 2007 г., в донных сообществах озера произошли заметные изменения: дефаунизация на глубинах свыше 7 м, смещение сообществ на меньшие глубины, изменение облика и структуры сообществ, за счет вымирания ряда

крупных и (или) массовых видов (*Pseudopotamilla*, *Astarte*, возможно *Molgula citrina*) и резкого роста численности мидий. Изменения в распределении и структуре бентоса озера, очевидно, связаны с изменением в стратификации его вод. Из-за экспансии сероводородного слоя, условия на глубинах свыше 7 м более не пригодны для аэробных организмов. Зато осолонение поверхностных вод частично компенсирует морским сообществам потерю жизненного пространства на глубине. Как можно видеть по представленным материалам, оз. Могильное по-прежнему полно жизнью. Однако, произошедшее за 10 лет – буквально на наших глазах, вымирание таких «титультных» для озера видов, как *Pseudopotamilla* и *Astarte*, и масштаб изменений в пространственном распределении сообществ, говорит о кризисе экосистемы.



Съемка подводной цейтраферной камерой.

Мальки трески в оз. Могильном. Июль 2018 г.

3.3. Описание сообществ сосудистых побережья озера (как водных, так и сухопутных), включая фильтрующую перемычку между озером и морем

Авторы: Меньшакова М.Ю. (МАГУ), Гайнанова Р.И. (ООО «МУРМАНЭКОПРОЕКТ»)

3.3.1. Картирование береговой растительности

В рамках проекта изучен растительный покров ближайших окрестностей озера Могильное. Геоботанические описания проводились в 100-метровой прибрежной полосе озера по стандартной методике. Описаны все сообщества, выявленные в пределах обследованной территории. Схема размещения точек, в которых проводились описания приведена на рис. 14. Результаты описаний сведены в атрибутивную таблицу слоя в ArcMap.

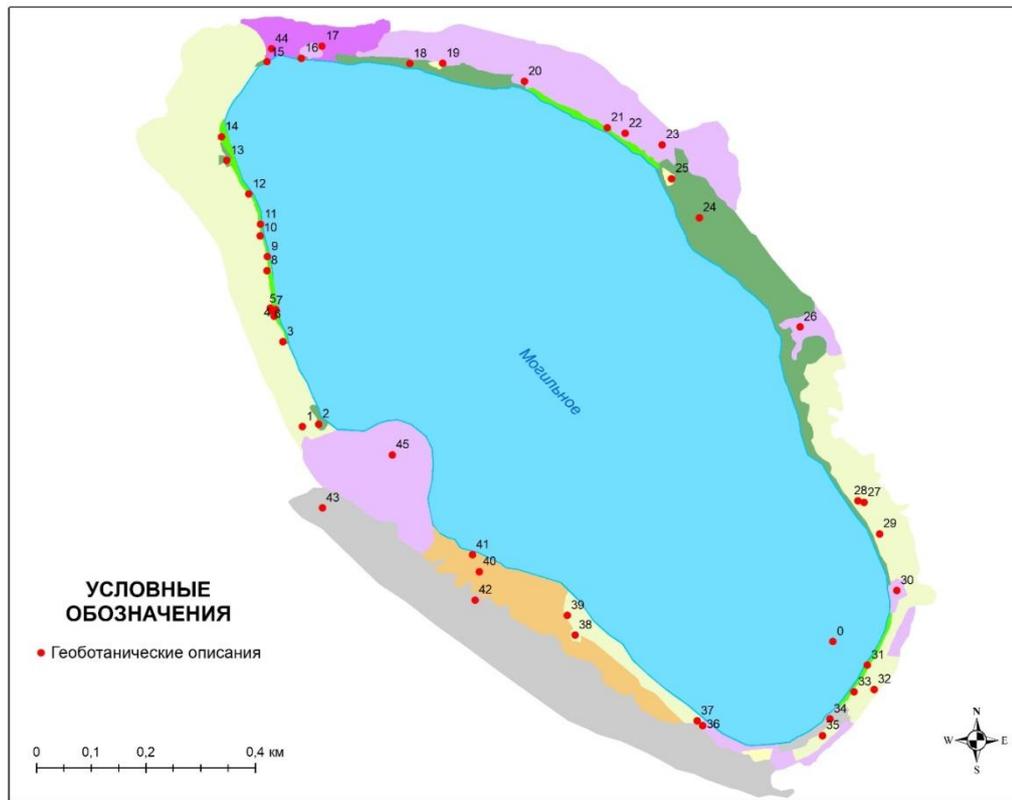


Рис. 14. Схема растительности составлена на основе данных геоботанических описаний с использованием космоснимка (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community).



Рис. 15. Схема растительности окрестностей озера Могильное.

Прибрежные склоны озера покрыты кустарничково-травяными тундрами. Основу растительного покрова составляют *Chamaepericlymenum suecicum* и *Vaccinium myrtillus* (обилие до сор2) с участием следующих видов: *Achillea millefolium*; *Bistorta vivipara*; *Geranium sylvaticum*; *Ranunculus acris*; *Solidago lapponica* и др. В составе сообществ часто присутствует *Leymus arenarius*, обилие которого снижается по мере удаления от морского побережья.



Фото Р.И.Гайнановой

Кустарничково-травяные тундры с доминированием *Chamaepericlymenum suecicum*.

На северном берегу озера Могильное кустарничково-травяные тундры характеризуются доминированием *Vaccinium myrtillus* и *Empetrum hermaphroditum*. Травянистый ярус представлен *Chamaenerion angustifolium*, *Bistorta vivipara*, *Festuca ovina*, *Pilosella sp.*, *Solidago lapponica* и др. Описываемый фитоценоз является местом произрастания занесенной в Красную книгу Мурманской области *Alchemilla alpina*.



Фото Р.А.Гайнановой

Кустарничково-травяные тундры с доминированием *Vaccinium myrtillus*.

На восточном побережье озера представлены ивняки разнотравно-злаковые. Доминирующими видами являются *Salix lanata* и *S. phylicifolia*, изредка встречается *Sorbus aucuparia*. В травянистом ярусе преобладают *Alchemilla* sp., *Geranium sylvaticum*, *Chamaenerion angustifolium*, *Angelica archangelica*.

Пойменные луга узкими полосами окаймляют береговую линию у самого уреза воды. Для растительного покрова характерно высокое проективное покрытие. Наиболее обильны *Caltha palustris*; *Rumex acetosa*; *Solidago lapponica*, *Bistorta vivipara*. На отдельных участках в составе травостоя отмечается *Geum rivale* (обилие от sol до sp), что может свидетельствовать об эвтрофикации. На переувлажненных участках побережья представлены осоковые заболоченные луга (*Carex nigricans*) с обилием от сор3 до soc) с небольшим участием *Caltha palustris* и *Calamagrostis lapponica* (sol).

Растительность приморской тундровой полосы представлена кустарничковыми тундрами: вороничными, ерниково-вороничными. Растительный покров несомкнут, на береговом склоне имеются каменистые осыпи (рис.). К доминирующим видам- эдификаторам этих сообществ относятся *Empetrum hermaphroditum*, *Betula nana*, *Vaccinium myrtillus*. Травянистый ярус слагают *Solidago lapponica*, *Polemonium boreale*; *Rhinanthus minor*; *Rhodiola rosea*. Также в составе этих ценозов встречаются типичные приморские виды: *Lathyrus aleuticus*, *Leymus arenarius*, *Ligusticum scoticum*.



Фото Р.А.Гайнановой

Юго-западный берег оз. Могильное.

Перемычку, отделяющую озеро от Кильдинской салмы, занимают сообщества приморских лугов: над береговым валом представлен разнотравно-злаковый луг. В сообществе доминируют *Solidago lapponica*, *Lathyrus aleuticus*. Встречаются *Achillea millefolium*, *Campanula rotundifolia*, *Festuca ovina*, *Polemonium boreale*, *Rhodiola rosea*. На каменистой литорали разрозненно произрастают *Leymus arenarius*, *Ligusticum scoticum*, *Mertensia maritima*, *Honkenia diffusa*.



Фото Р.А.Гайнановой

Перемычка между оз. Могильное и проливом Кильдинская салма.

Растительный покров окрестностей озера Могильное подвергся существенной антропогенной трансформации, о чем свидетельствует наличие антропогенных луговин и участие в большинстве фитоценозов рудеральных видов растений, таких, как *Chamaenerion angustifolium*, *Cirsium arvense* и др. На отдельных участках эти виды образуют сплошные заросли (рис.).



Фото Р.А.Гайнановой

Заросли рудеральных видов на восточном побережье оз. Могильное.

3.3.2. Список видов растений, отмеченных на обследованной территории

1. *Achillea millefolium* L. s. l. – Тысячелистник обыкновенный.
2. *Adoxa moschatellina* L.- Адокса мускусная
3. *Agrostis tenuis* Sibth. – Полевица тонкая.
4. *Alchemilla alpina* L. - Манжетка альпийская
5. *Alopecurus arundinaceus* Poir. – Лисохвост тростниковидный
6. *Angelica archangelica* L. – Дудник лекарственный, дягиль.
7. *Anthoxanthum alpinum* A. et D. Löve – Душистый колосок альпийский
8. *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. – Купырь лесной.
9. *Arctous alpina* (L.) Niedenzu – Арктоус альпийский.
10. *Athyrium distentifolium* Tausch ex Opiz – Кочедыжник расставленный.
11. *Avenella flexuosa* (L.) Drej. – Луговик извилистый
12. *Barbarea vulgaris* R. Br. – Сурепка обыкновенная.
13. *Betula nana* L. – Береза карликовая, ерник.
14. *Bistorta vivipara* (L.) Delarbre (*Polygonum viviparum* L.) – Змеиный горец живородящий.
15. *Botrychium lunaria* (L.) Sw. – Гроздовник полулунный.
16. *Calamagrostis lapponica* (Wahlenb.) C. Hartm. – Вейник лапландский.
17. *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth – Вейник наземный.
18. *Caltha palustris* L. – Калужница болотная.
19. *Campanula rotundifolia* L. – Колокольчик круглолистный.
20. *Carex atrata* L.- Осока черноватая
21. *Carex arctogena* H. Smith – Осока северная.
22. *Carex nigricans* C.A. Mey. – Осока чернеющая
23. *Carex paupercula* Michx. - Осока беденькая
24. *Carex bigelowii* Torr. ex Schwein. – Осока Биджелу.
25. *Carex pauciflora* Lightf. – Осока малоцветковая.
26. *Cerastium holosteoides* Fries – Ясколка костенцовая.
27. *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. – Иван-чай узколистый.
28. *Chamaepericlymenum suecicum* (L.) Aschers. et Graebn. – Дерен шведский.
29. *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill – Бодяк разнолистный.
30. *Cirsium arvense* (L.) Scop. - Бодяк полевой
31. *Cochlearia officinalis* L. - Ложечница лекарственная.
32. *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. – Луговик дернистый, щучка.
33. *Dianthus superbus* L. - Гвоздика пышная
34. *Empetrum hermaphroditum* Nagelr – Водяника (вороника) обоеполая.
35. *Epilobium palustre* L. – Кипрей болотный.
36. *Equisetum arvense* L. – Хвощ полевой
37. *Equisetum palustre* L. – Хвощ болотный. *Equisetum arvense*
38. *Equisetum pratense* Ehrh. – Хвощ луговой
39. *Euphrasia frigida* Pugsl. – Очанка холодная.
40. *Festuca ovina* L. – Овсяница овечья.
41. *Festuca pratensis* Huds. – Овсяница луговая.
42. *Festuca rubra* L. – Овсяница красная.
43. *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. – Лабазник вязолистный.
44. *Galium uliginosum* L. – Подмаренник топяной.
45. *Geranium sylvaticum* L. – Герань лесная.
46. *Geum rivale* L. – Гравилат речной. Рассеянно.
47. *Hierochloa alpina* (Sw.) Roem. & Schult. - Зубровка альпийская.
48. *Honkenia reploides* ssp. *diffusa* (Hornem.) Hultén – Гонкения раскидистая
49. *Juniperus sibirica* Burgsd. – Можжевельник сибирский.
50. *Juncus bufonius* L. – Ситник лягушачий
51. *Lathyrus pratensis* L. – Чина луговая.
52. *Lathyrus aleuticus* (Greene) Pobed. - Чина алеутская.
53. *Leontodon autumnalis* L. – Кульбаба осенняя.
54. *Leymus arenarius* (L.) Hochst. - Колосняк песчаный.
55. *Ligusticum scoticum* L. - Лигустикум шотландский
56. *Luzula spicata* (L.) DC. – Ожика колосистая.
57. *Melampyrum pratense* L. – Марьянник луговой
58. *Omalotheca norvegica* (Gunnerus) Sch. Bip. & F.W. Schultz - Сушеница норвежская.

59. *Parnassia palustris* L. – Белозор болотный.
60. *Pilosella* sp. - Ястребиночка
61. *Poa annua* L. – Мятлик однолетний.
62. *Poa pratensis* L. – Мятлик луговой.
63. *Polemonium boreale* Adams [= *P. lapponicum* Клок.] - Синюха северная.
64. *Potentilla crantzii* (Crantz) Beck ex Fritsch - Лапчатка Кранца
65. *Pyrola rotundifolia* L. - Грушанка круглолистная.
66. *Ranunculus acris* L. – Лютик едкий.
67. *Rhinanthus minor* L. – Погребок малый.
68. *Rhizomnium* sp. - Ризомниум
69. *Rhodiola rosea* L. - Родиола розовая
70. *Rubus chamaemorus* L. – Малина приземистая, морошка.
71. *Rumex acetosa* L. – Щавель кислый.
72. *Rumex acetosella* L. – Щавель воробьиный.
73. *Rumex confertus* Willd. – Щавель густой.
74. *Rumex thyrsiflorus* Fingerh. – Щавель пирамидальный.
75. *Salix* sp. (*lanata* *caprea*) – Ива, гибрид ивы мохнатой и козьей
76. *Sagina procumbens* L. – Мшанка лежачая
77. *Salix lanata* L. – Ива мохнатая.
78. *Salix phylicifolia* L. – Ива филиколистная.
79. *Saussurea alpina* (L.) DC. – Соссюрея альпийская.
80. *Solidago lapponica* L. s. l. – Золотарник золотая розга.
81. *Sorbus aucuparia* L. – Рябина обыкновенная.
82. *Stellaria crassifolia* Ehrh. – Звездчатка толстолистная.
83. *Stellaria graminea* L. – Звездчатка злаковая.
84. *Taraxacum* sp. - Одуванчик
85. *Tephrosieris integrifolia* (L.) Holub - Пепельник цельнолистный
86. *Trientalis europaea* L. – Седмичник европейский.
87. *Trifolium repens* L. (*Amoria repens* (L.) C. Presl) – Клевер ползучий.
88. *Trifolium pratense* L. – Клевер луговой.
89. *Trollius europaeus* L. – Купальница европейская.
90. *Tussilago farfara* L. – Мать-и-мачеха обыкновенная.
91. *Vaccinium myrtillus* L. – Черника.
92. *Vaccinium uliginosum* L. – Голубика.
93. *Vaccinium vitis-idaea* L. – Брусника.
94. *Veronica chamaedrys* L. – Вероника дубравная.
95. *Vicia cracca* L. – Горошек мышиный.
96. *Viola biflora* L. – Фиалка двухцветковая
97. *Viola eipsila* Ledeb. – Фиалка сверхуголая

3.3.3. Растения, внесенные в Красные книги РФ и Мурманской области

В рамках обследования выявлены места произрастания видов, внесенных в Красную книгу РФ и Красную книгу Мурманской области. Категории приведены в соответствии с Постановлением Правительства Мурманской области от 04.09.2002 № 325-ПП «Об утверждении положения о Красной книге Мурманской области» (таблица 5).

Таблица 5. Перечень видов, внесенных в Красную книгу РФ и Красную книгу Мурманской области, произрастающих на побережье оз. Могильное.

№ п/п	Наименование вида	Категория статуса	
		ККМО	ККРФ
1.	Гроздовник полулунный - <i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw	Вид, нуждающийся в особом внимании к его состоянию в природной среде	-
2.	Осока черноватая - <i>Carex atrata</i> L.	Вид, нуждающийся в особом внимании к его состоянию в природной среде	-
3.	Осока северная – <i>Carex arctogena</i> H. Smith.	Вид, нуждающийся в особом внимании к его состоянию в природной среде	-
4.	Гвоздика пышная - <i>Dianthus superbus</i> L.	Вид, нуждающийся в особом внимании к его состоянию в природной среде	-
5.	Родиола розовая - <i>Rhodiola rosea</i> L.	3	3
6.	Манжетка альпийская - <i>Alchemilla alpina</i> L.	3	-
7.	Синюха северная - <i>Polemonium boreale</i> Adams [= <i>P. lapponicum</i> Klok.]	2	-

Размещение местонахождений видов, внесенных в Красную книгу РФ и Красную книгу Мурманской области, представлено на рис. 15

Выводы по разделу 3.3.

1. Изучен растительный покров в 100-метровой прибрежной полосе озера Могильное. Описаны все сообщества, выявленные в пределах обследованной территории.
2. На основе данных геоботанических описаний составлена схема растительности с использованием космоснимка (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community).
3. Растительный покров окрестностей озера Могильное подвергся существенной антропогенной трансформации, о чем свидетельствуют наличие антропогенных луговин и участие в большинстве фитоценозов рудеральных видов растений, которые на отдельных участках образуют сплошные заросли.
4. Составлен список растений, отмеченных на обследованной территории.
5. Выявлены места произрастания видов, внесенных в Красную книгу РФ и Красную книгу Мурманской области.

3.4. Исследование микрофитобентоса оз. Могильного и прилегающих водоемов

Автор: Р. М. Гогорев, ведущий научный сотрудник Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН.

Материал и методы

С 24 по 28 июля 2018 г. проведен сбор проб бентоса и обрастаний на оз. Могильное. Часть проб (11) была отобрана с глубин 3-6 м водолажным способом (сборщик М. Федюк) или в ходе ныряния. Большая часть отобрана в ходе двухдневного осмотра мелководной прибрежной части озера. Пробы отбирали путем соскабливания с камней (эпилитон), раковин моллюсков, искусственных (чужеродных) субстратов (кость), подводных частей макрофитов и водной растительности (эпифитон), путем взятия песка и мелкого гравия (эпипсаммон), кусочков тины (зеленых и «бурых» нитчаток), корковых наслоений на камнях, дне и в толще воды, путем выжимки мхов у уреза воды. Всего на озере отобрано 40 проб микрофитобентоса и обрастаний с 23 точек-станций (Табл. 5, Рисунок «Станции микрофитобентоса оз. Могильного и Кильдинской Салмы»).

Для сравнения альгофлоры озера и прилегающей морской части проведен сбор проб бентоса и обрастаний на литорали Кильдинской Салмы непосредственно напротив озера через дамбу. Делали соскобы с макрофитов (фукус, ламинария) и камней, в литоральных ваннах и ванночках, отбирали кусочки тины (зеленые и бурые нитчатки и «шарики»), грунта (песок и мелкий гравий), пробы воды, протекающей через дамбу (вытекающей из озера). А также собран материал из удаленных от озера районов морской литорали (северо-восточная часть – Сундуки, южный берег острова) и пресноводных водоемов (ручей, временная лужа). Всего отобрано 27 проб с 21 точки-станции (Табл. 6, частично Рисунок 16 «Станции микрофитобентоса оз. Могильного и Кильдинской Салмы»).

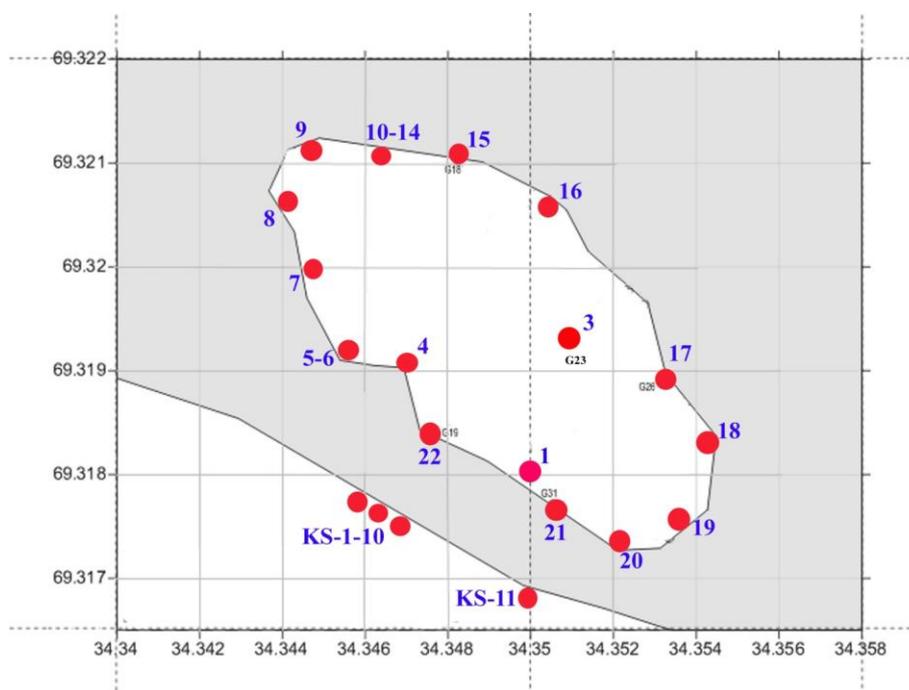


Рис. 16. Станции микрофитобентоса оз. Могильного и Кильдинской Салмы.

Таблица 6. Станции микрофитобентоса оз. Могильного и Кильдинской Салмы (июль 2019).

Станции	Пробы	дата	Координаты, N	Координаты, W	Глубина, м	Температура, град.С	Соленость, psu
1 (точка 1)	M18-1a-1g	24.07.2019	69°19,096 69.318267	34°20,998 34.349967	4,5- 5,5	10,3	22,3-25,1
2 (Сундуки)	M18-2a-2c						
3 (G23)	M18-3S (сеть)	25.07.2019	69.3193°	34.351°	0-17		
4 (мыс)	M18-4 (ил, грунт)		69°19'07.8 " 69.318831	34°20'48.9" 34.346927	3		
5 (Ю.залив)	M18-5a-5d		69°19'09.2 " 69.319232	34°20'41" 34.344713			
6	M18-6a-6b						
7 (тростник)	M18-7		69°19'11.7 " 69.319912	34°20'36.6" 34.343488			
8 (Ю-3)	M18-8		69°19'13.8 " 69.320501	34°20'37.8" 34.343839			
9	M18-9		69°19'15.2 " 69.320897,	34°20'41.4" 34.344835			
10 (крест)	M18-10		69°19'14.1 " 69.320579,	34°20'50.4" 34.347331			
11	M18-11						
12	M18-12a-12c						
13	M18-13a-13b						
14	M18-14						
15 (G18) (сев. берег)	M18-15		69°19'12.9 " 69.320243,	34°20'56.4" 34.349005			
16	M18-16a-16c						
17 (G26) (тростник)	M18-17		69°19'07.6 " 69.318790,	34°21'07.7" 34.352143			
18 (маяк)	M18-18a-18c	26.07.2019	69°19'05" 69.318050,	34°21'13.8" 34.353832			
19	M18-19		69°19'02.8 " 69.317437	34°21'11.7" 34.353246			
20	M18-20		69°19'01" 69.316949	34°21'09.1" 34.352537			
21 (G31)	M18-21		69°19'02.7 " 69.317416	34°21'01.8" 34.350494		16,2	18,2
22	КС-1 – КС-10		69°19'04.2 " 69.317819	34°20'45.3" 34.345917			32,5

Таблица 6. Продолжение.

Станции	Пробы	дата	Координаты, N	Координаты, W	Глубина, м	Температура, град.С	Соленость, psu
23 (ручье-ек)	КС-11	27.07.2019	69°19'00.9 " 69.316906	34°21'02" 34.350545			17,6-18,2
24	КС-12						
25 (G19)	M18-22 (=M18-16)		69°19'05.5 " 69.318199,	34°20'50.5" 34.347371	3,5		14,4-14,7
26 (II-III разрез, Ю.берег)	M18-23				4,5		17,6-28,4
27 (С.берег)	M18-24				6		26,2-26,4
28 (мыс)	КС-13		69°19'03.4 " 69.317602	34°19'21.4" 34.322620			
29 (при- чал)	КС-14		69°19'14" 69.320542	34°19'32.9" 34.325793			
30 (кут)	КС-15a-15b		69°19'23.5 " 69.323181	34°19'40.2" 34.327825			
31	КС-16		69°19'18.6 " 69.321820	34°16'39.3" 34.277595			
32 (возле ручья)	КС-17a-17b		69°18'38.3 " 69.310651	34°09'48.1" 34.163351			
33 (ручей)	КС-18Па- 18Пб		69°18'39.5 " 69.310977	34°09'57.5" 34.165963			
34 (лужа)	КС-19П		69°18'53.8 " 69.314948	34°12'22.5" 34.206249			
35	КС-20 (сеть)	28.07.2019	69°18'59" 69.316382,	34°20'21.9" 34.339427			

Пробы бентоса и обрастаний помещали в пластиковые и стеклянные пробирки и пузырьки, фиксировали формалином до конечной концентрации в пробе 1-4%, раствором Люголя или спиртом. В лабораторных условиях пробы просматривали в водных препаратах на предмет определения родовой\видовой принадлежности водорослей и определения их качественной оценки обилия в пробе. Также материал очищали от органики для изучения тонкой структуры панцирей диатомовых водорослей. Пробы концентрировали, отмывали от фиксатора и растворенных солей, обрабатывали 30%-ным раствором H_2O_2 и нагревали 2–3 мин, добавляли бихромат калия. Далее пробы отмывали от реагентов дистиллированной водой, используя центрифугу (1500 об./мин) для осаждения клеток, помещали в водно-спиртовую смесь. В последующем очищенный материал использовали для приготовления постоянных препаратов и столиков для изучения на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM-6390LA.

Определение видовой принадлежности водорослей проводили по многочисленным отечественным и зарубежным определителям, Атласам и статьям^{26 27 28 29 30 31 32 33 34 35}.

²⁶ Krammer K. 2000. The genus *Pinnularia*. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 1. Ruggell: 1–703.

Таксономическое положение видов уточняли по Базе данных AlgaeBase (<http://www.algaebase.org>).

Результаты

С целью оценки видового разнообразия, формы колоний с помощью светового микроскопа просмотрены пробы M18-1a, M18-1c, M18-3S, M18-8, M18-6a, M18-12b, M18-13b, M18-14, M18-16b, M18-21, KC-2, KC-5, KC-6, KC-20. В целом число видов в пробе колебалось от 8 до 36, что определяется, в первую очередь, типом субстрата. В большинстве изученных проб присутствовали по 2-4 вида цианопрокариот, в некоторых – представители зеленых и мелких динофлагеллят. Кроме того, с помощью СЭМ изучены следующие пробы: M18-1a, M18-1c, M18-6a, M18-12b, M18-16b. Проба M18-1c (обрастания филлофоры) оказалась самой результативной по числу найденных видов (36) и размерному диапазону их клеток. Также проба M18-6a (обрастания зеленой нитчатки) оказалась богатой по разнообразию (36 видов). В этих пробах в большом количестве представлены виды с небольшими и/или мелкими размерами клеток, многие из них трудно идентифицируемы и найдены во флоре озера впервые, несколько видов найдены впервые для флоры Мурманской области (*Nitzschia sigmoidea*, *Pteroncola inane*, *Rhopalodia gibberula*).

Всего анализ предварительной обработки проб показал, что в бентосе и обрастаниях озера Могильное присутствуют 101 вид и внутривидовой таксон из 58 родов, относящихся к 4 отделам водорослей (Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanoprokaryota, Dinophyta) (Табл. 6). Из них минимум два вида из родов *Fallacia* и *Halamphora* являются новыми для науки, необходимы дополнительные тщательные исследования для подтверждения и описания новых таксонов.

Предварительные результаты подтверждают присутствие половины видов (52), обнаруженных ранее в планктоне по литературным и собственным данным. Находки новых таксонов, с одной стороны, говорят о сильной недоизученности альгофлоры, с другой могут свидетельствовать о продолжающемся процессе заселения озера новыми представителями. Кроме того, найдены новые для флоры озера виды из родов *Amphora* Ehrenb. ex Kütz., *Berkeleya* Grev., *Diploneis* (Ehrenb.) Cleve, *Fallacia* A.J. Stickle et D.G. Mann, *Licmophora* C. Agardh, *Navicula* Bory, *Platessa* Lange-Bert., *Rhizosolenia* Brightw. и *Thalassionema* Grunow ex Mereschk., большинство из них морского происхождения, что подтверждает усиливающее воздействие прилегающей морской акватории. Также следует отметить, что большая часть обнаруженных видов характеризуются малыми размерами клеток. Однако в прибрежных обрастаниях представленные доминанты (большинство из

²⁷ Krammer, K. 2002. Cymbella. Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 3. Ruggell: 1–584.

²⁸ Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1988) Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds.) Süsswasserflora von Mitteleuropa, Band 2/2. Gustav Fisher Verlag, Jena.

²⁹ Krammer K. 2003. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 4. Ruggell: 1–530.

³⁰ Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae. Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/1. Stuttgart: 1–876.

³¹ Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. Teil 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/2. Stuttgart; New York: 1–596.

³² Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae. Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/3. Stuttgart; Jena: 1–599.

³³ Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae. Teil 4. Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen Navicula (Lineolatae) and Gomphonema; Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1–4. Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/4. Stuttgart; Jena: 1–433.

³⁴ Lange-Bertalot H. 2001. Navicula sensu stricto. 10 Genera separated from Navicula sensu lato. Frustulia. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 2. Ruggell: 1–526.

³⁵ Levkov Z. 2009. Amphora sensu lato. Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 5. Ruggell: 5–916.

рода *Diploneis*) являются крупноразмерными. Говорить о пространственном распределении массовых видов вдоль береговой линии пока преждевременно, и, к сожалению, полученные результаты нельзя будет сравнить с данными предыдущих исследований по причине их отсутствия.

Таблица 7. Таксономический состав микрофитобентоса оз. Могильного

Bacillariophyta (диатомовые)
<i>Actinocyclus</i> cf. <i>senarius</i> (Ehrenb.) Ehrenb.
<i>Chaetoceros muelleri</i> Lemm.
<i>C. whigamii</i>
<i>Hyalodiscus</i> cf. <i>scoticus</i> Kütz.
<i>Melosira arctica</i>
<i>M. nummuloides</i> (Dillw.) Ag.
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenb.) Cl.
<i>Psammodiscus</i> sp.
<i>Rhizosolenia</i> sp.
<i>Achnanthes brevipes</i>
<i>A.</i> cf. <i>groenlandica</i> (Cl.) Grun.
<i>A.septata</i>
<i>Amphora copulata</i> (Kütz.) Schoeman et R. E. M. Archibald
<i>A.</i> cf. <i>Helenensis</i>
<i>A.</i> cf. <i>Marina</i>
<i>Amphora</i> sp.
<i>Bacillaria paxillifer</i> (O.F.Müll.) Hendey
<i>Berkeleya rutilans</i>
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve
<i>C. liber</i> (W. Sm.) Cleve
<i>Cocconeis</i> cf. <i>neothumensis</i> Krammer var. <i>marina</i> M. De Stefano, D. Marino et L. Mazzella
<i>C. placentula</i>
<i>C. scutellum</i> Ehrenb.
<i>Craticula</i> sp.
<i>Ctenophora pulchella</i> (Kütz.) Williams et Round
<i>Cylindrotheca closterium</i>
<i>Cymbella</i> sp.
<i>Cymbellonitzschia diluviana</i> Hust.
<i>Diatoma tenuis</i> Agardh
<i>Diploneis arctica</i>
<i>D. coffeaformis</i>
<i>D. fusca</i> (Greg.) Cl.
<i>D.</i> cf. <i>incurvata</i>
<i>D. oculata</i>
<i>D. pseudoovalis</i>
<i>D. splendida</i>
<i>D. subcincta</i>
<i>Encyonema</i> sp.
<i>Entomoneis</i> cf. <i>hyperborean</i>
<i>Epithemia adnata</i> (Kütz.) Bréb. var. <i>saxonica</i> (Kütz.) R. M. Patrick
<i>Fallacia</i> sp. (sp. nov.)
<i>Fragilaria</i> sp.
<i>Geissleria acceptata</i> (Hust.) Lange-Bert. et Metzeltin
<i>Halamphora turgida</i>
<i>Halamphora</i> sp. 1 (sp. nov.)
<i>Halamphora</i> sp. 2
<i>Hippodonta</i> cf. <i>naviculiformis</i> A. Pavlov, Levkov, D. M. Williams et Edlund
<i>Humidophila</i> sp.
<i>Licmophora paradoxa</i>

Таблица 7. Продолжение.

Bacillariophyta (диатомовые) (продолжение)
<i>Navicula gregaria</i> Donkin
<i>N. sepulchralis</i> Gogorev et lange
<i>Navicula</i> sp. 1
<i>Navicula</i> sp. 2
<i>Navicula</i> sp. 3
<i>Navicula</i> sp. 4
<i>Navicula</i> sp. 5
<i>Navicula</i> sp. 6
<i>Navicula</i> sp. 7
<i>Navicula</i> sp. 8
Nitzschia clausii Hantzsch
<i>N. inconspicua</i> Grunow
<i>N. microcephala</i> Grunow
<i>N. sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Sm.
<i>N. soratensis</i> E. Morales et M. L. Vis
<i>Nitzschia</i> sp.
Opephora krumbeinii Witkowski et al.
<i>O. mutabilis</i> (Grunow) Sabbe et Vyverman
Petronis humerosa (Bréb. ex W. Sm.) Stickle et D. G. Mann
Placoneis clementioides (Hust.) Cox
Planothidium alekseevae Gogorev et lange
<i>P. asymmetricum</i> Gogorev et lange
<i>P. delicatulum</i> (Kütz.) Round et Bukhtiyarova f. <i>delicatulum</i>
<i>P. delicatulum</i> f. <i>minor</i> Gogorev et lange
<i>P. minutissimum</i> (Krasske) Morales
Platessa sp.
Pleurosigma sp.
Pravifusus sp.
Prestauroneis protracta (Grunow) Kulikowski et Glushchenko
Pseudostaurosira elliptica
<i>P. trainorii</i>
Pteroncola inane (Giffen) Round
Rhabdonema minutum Kütz.
Rhoicosphenia murmanica Gogorev et lange
Rhopalodia gibberula (Ehrenb.) O.Müll.
Seminavis barbara Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin
Stauroforma atomus
Surirella brebissonii Krammer et Lange-Bert.
<i>S. librile</i> (Ehrenb.) Ehrenb.
Tabularia tabulata (C.Agardh) Snoeijs
Thalassionema nitzschioides
Trachyneis aspera Cl.
Tryblionella marginulata Grunow
Chlorophyta (зеленые)
Pediastrum sp.

Таблица 7. Продолжение.

Cyanoprocarvota (синезеленые)
<i>Anabaena</i> sp. 1
<i>Anabaena</i> sp. 2
<i>Merismopedia</i> sp.
<i>Oscillatoria</i> sp.
<i>Cyanophyceae</i> gen. sp. 1
<i>Cyanophyceae</i> gen. sp. 1
Dinophyta (динофлагелляты)
<i>Glenodinium</i> sp.
<i>Gymnodinium</i> sp.

Выводы по разделу 3.4.

1. В бентосе и обрастаниях озера Могильное обнаружен 101 вид и внутривидовой таксон из 58 родов, относящихся к 4 отделам водорослей (Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanoprocarvota, Dinophyta).
2. Найдены новые для флоры озера виды, несколько видов найдены впервые для флоры Мурманской области (*Nitzschia sigmaidea*, *Pteroncola inane*, *Rhopalodia gibberula*).
3. Два вида из родов *Fallacia* и *Halamphora* являются новыми для науки.
4. Находки новых таксонов, с одной стороны, говорят о сильной недоизученности альгофлоры оз. Могильного, с другой – могут свидетельствовать о продолжающемся процессе заселения озера новыми представителями.
5. Среди новых для флоры озера видов, относящихся к родам *Amphora*, *Berkeleya*, *Diploneis*, *Fallacia*, *Licmophora*, *Navicula*, *Platessa*, *Rhizosolenia* и *Thalassionema*, большинство – морского происхождения, что подтверждает усиливающее воздействие прилегающей морской акватории.

4. Оценка микробиологических процессов в озере Могильном

4.1. Экспресс-оценка состава доминирующих фотосинтезирующих организмов

Авторы: Пацаева С.В., Жильцова А.А. (Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова), Е.Д.Краснова (Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова), Воронов Дмитрий Анатольевич (ИПЭЭ РАН. Институт физико-химической биологии им. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова).

Введение

Один из интригующих вопросов, связанных с озером Могильным – какие бактерии придают окраску розовому слою. Первый микробиолог, который исследовал бактериальное сообщество оз. Могильного, Б.Л.Исаченко³⁶, обнаружил в этом слое, который тогда находился на глубине 13 м, подвижных пурпурных серных бактерий. С тех пор в научной среде закрепилось представление о том, что они и служат причиной розовой окраски. Однако в ходе исследований Института микробиологии им. С.Н. Виноградского В.М. Горленко с соавторами³⁷ было показано, что в хемоклине оз. Могильного в массовом количестве раз-

³⁶ Исаченко Б.Л. Исследование над бактериями Северного Ледовитого океана // Тр. Мурманской научной промысловой экспедиции. 1906 г. СПб., 1914.

³⁷ Горленко В.М., Вайнштейн М.Б., Качалкин В.И. Микробиологические процессы // Реликтовое озеро Могильное/ Под ред. Гуревича В.И., Цеев Р.Я. – Л.: Наука, 1975. – С. 188-197.

вивались коричневоокрашенные зеленые серные бактерии, среди которых доминировали *Chl. phaeovibrioides*, с максимальной численностью до 10^6 кл./мл на глубине 8,75 м. Пурпурных серобактерий *Thiocystis violacea* и *Thiocapsa roseopersicina* там было на два порядка меньше. Исследования 1999 и 2001 гг. подтвердили доминирование в хемоклине озера Могильное коричневоокрашенных зеленых серных бактерий, а пурпурные встречались лишь в виде единичных клеток³⁸. Таким образом, за прошедшие сто лет произошла смена доминантов. Пурпурные и зеленые серные бактерии относятся к аноксигенным фототрофам, поскольку живут за счет фотосинтеза особого типа – без выделения кислорода. Обе группы бактерий играют в водоеме одну и ту же роль: они используют сероводород для фотосинтеза, окисляют его, и тем самым защищают вышележащую аэробную экосистему от диффузии этого ядовитого агента. Важные экологические различия между ними состоят в том, что: 1) пурпурным бактериям нужно больше света (50-300 люкс), тогда как зеленые могут довольствоваться считанными люксами; 2) пурпурные могут выдерживать присутствие кислорода в небольших количествах, тогда как зеленые – строгие анаэробы. Таким образом, эти бактерии служат индикаторами конкретных абиотических условий, и вопрос о том, какие именно бактерии придают розовому слою окраску сейчас, не только таксономический, но и экологический.

Методы

Мы выполнили экспресс-анализ методами спектрофотометрии и спектрофлуориметрии, отработанными прежде на беломорских меромиктических водоемах^{39 40}. Спектры оптической плотности (поглощения света) определяли спектрофотометром Solar PB2201 в диапазоне длин волн от 200 до 1100 нм. Флуоресценцию регистрировали в пробах воды без какой-либо их обработки при помощи флуориметра Solar CM2203. Определяли спектры возбуждения флуоресценции с регистрацией на длине волны 270, 310, 355, 415, 390, 440, 525 нм и спектры испускания флуоресценции при возбуждении светом с длиной волны 685-740 нм. Спектры поглощения проб воды регистрировали по отношению к дистиллированной воде.

Результаты

В июле 2018 г. после первой экспедиции на оз. Могильное были получены спектры поглощения и флуоресценции проб с разной глубины озера, которые позволили по пигментному составу определить, какие фотосинтезирующие микроорганизмы отвечают за красноватый цвет на границе аэробной и сероводородной зон. Максимум поглощения света в области 720-727 нм характерен для зеленых серных бактерий (рис. 17). Отсутствие пика в дальней красной области с длиной волны более 800 нм указывает на то, что пурпурные серные бактерии, для которых характерен такой пик, и которые в начале XX века отвечали за красноватый цвет этого слоя, в настоящее время не являются доминирующими.

³⁸ Лунина О., Горленко В.М., Попова О.А., Акимов В.Н., Русанов И.И., Пименов Н.В. Сезонные изменения структуры сообщества аноксигенных фототрофных бактерий реликтового озера Могильное (о. Кильдин, Баренцево море). // Микробиология, 2005, т. 74, №5, С. 677-686.

³⁹ Krasnova E.D., Kharcheva A.V., Milyutina I.A., Voronov D.A., Patsaeva S.V. Study of microbial communities in redox zone of meromictic lakes isolated from the White Sea using spectral and molecular methods // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. – 2015. – Vol. 95, No. 8. – P. 1579-1590.

⁴⁰ Zhiltsova A.A., Kharcheva A.V., Krasnova E.D., Lunina O.N., Voronov D.A., Savvichev A.S., Gorshkova O.M., Patsaeva S.V. Spectroscopic study of green sulfur bacteria in stratified water bodies of the Kandalaksha gulf of the White Sea // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2018. – Vol. 31, No. 4. – P. 390-396.

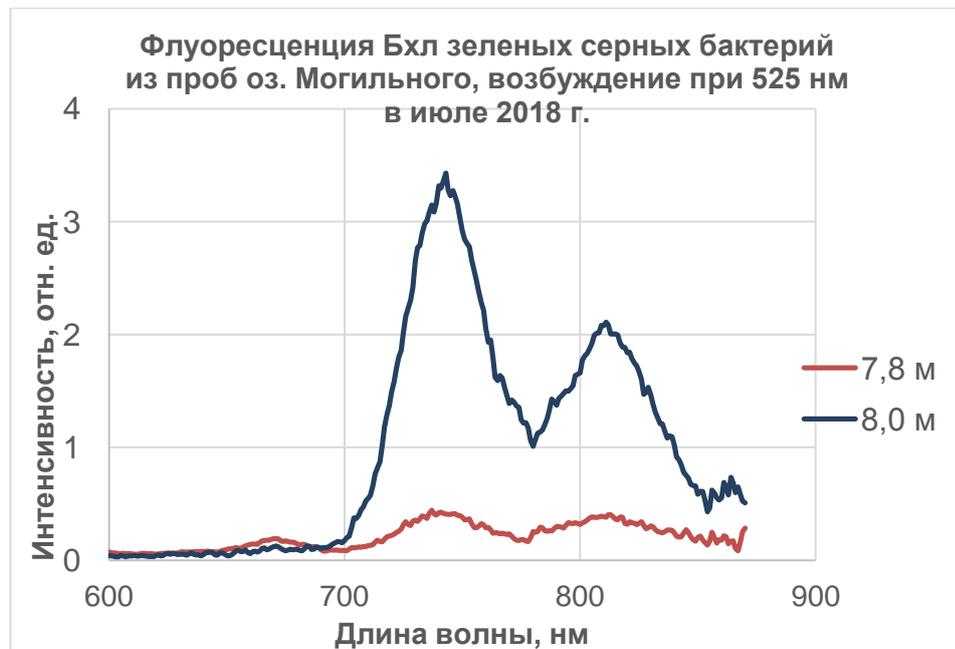


Рис.17. Спектры флуоресценции проб воды, отобранных в июле 2018 г. из слоя с наиболее интенсивной красной окраской (8 м) и с глубины 7,8 м с менее насыщенным цветом.

При возбуждении флуоресценции светом с длиной волны 440 или 525 нм, первый максимум полосы испускания флуоресценции бактериохлорофила (Бхл) приходился на диапазон 740-750 нм, что однозначно указывает на присутствие коричнево-окрашенных зеленых серных бактерий (Рис.17. Спектры флуоресценции проб воды, отобранных в июле 2018 г. из слоя с наиболее интенсивной красной окраской (8 м) и с глубины 7,8 м с менее насыщенным цветом). В спектрах поглощения проб воды наблюдали пик поглощения с максимумом 726 нм, что типично для хлоросомного Бхл зеленых серных бактерий. При этом полос поглощения Бхл *a* с длинами волн более 830-890 нм, характерной для пурпурных бактерий, мы не зарегистрировали. Пурпурные бактерии были замечены нами в пробах при микроскопировании, но численность их низка, и они не вносят заметного вклада в окраску розового слоя в хемоклине.

Спектры поглощения существенно различаются на разной глубине. Для примера рассмотрим спектры, полученные в июне 2019 г. (Рис. 18. Спектры поглощения в пробах, отобранных на разной глубине оз. Могильного в июне 2019 г.). Можно выделить 4 варианта спектров: 1) спектры поглощения прозрачной воды с глубины 1 - 3 м (на левом графике) без выраженных пиков поглощения, что говорит о малочисленности фотосинтезирующих организмов, 2) спектры проб с глубины 6,5 – 7 м (на левом графике) с небольшими пиками в области 670 нм, характерными для хлорофилла «а» водорослей и цианобактерий, 3) спектры с глубины 7,5-8 м (на правом графике) с пиком поглощения света Бхл зеленых серных бактерий в районе 715 нм, 4) с глубины 13-16 м (на правом графике) пробы без поглощения света на длинах волн фотосинтетических пигментов, лишь с небольшим остаточным пиком Бхл и с высоким пиком в ультрафиолетовой области.

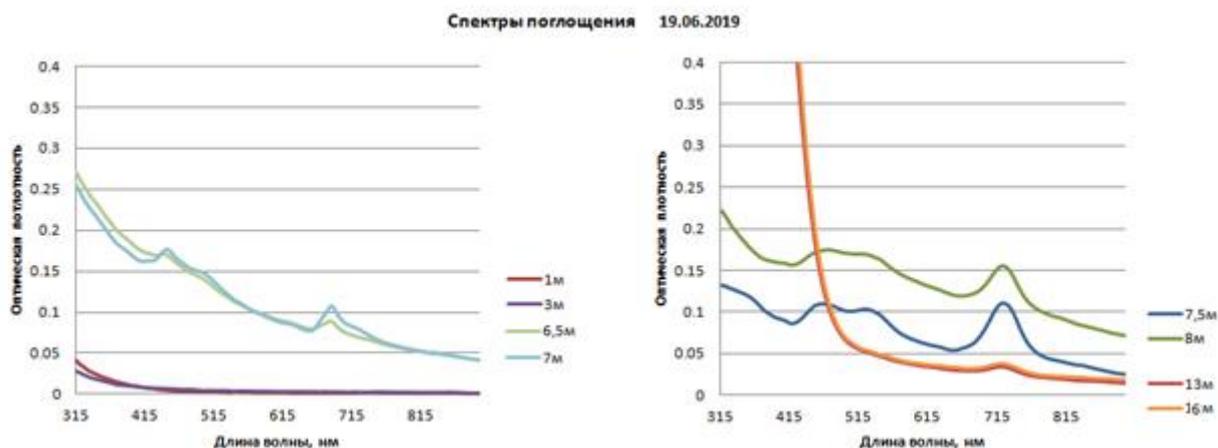


Рис.18. Спектры поглощения в пробах, отобранных на разной глубине оз. Могильного в июне 2019 г.

Полученные спектры хорошо согласуются с данными микроскопирования и подтверждают, что в верхних 5 м водной толщи в июне 2019 г. не было цветения фототрофных организмов, ближе к хемоклину наблюдалось массовое развитие зеленых фототрофных организмов с хлорофиллом «а» (водоросли, в данном случае – мелкие жгутиконосцы и сине-зеленые кокки), возле самого хемоклина и в анаэробной его части в массе развиваются коричнево-окрашенные зеленые серные бактерии, а в придонных водах сероводородной зоны активно действующих фототрофов нет.

Аналогичную картину мы получили по спектрам испускания флуоресценции (Рис.19. Спектры испускания флуоресценции в пробах с разной глубины, отобранных в июне 2019 г.).

Анализ флуоресценции Бхл при возбуждении светом с длиной волны 440 нм показывает, что самая большая концентрация Бхл «е» в июне 2019 г. была на глубине 7,5 м, но флуоресценция сильнее лучше на 8 м, где концентрация сероводорода, необходимого серобактериями для жизнедеятельности, выше (рис. 19).

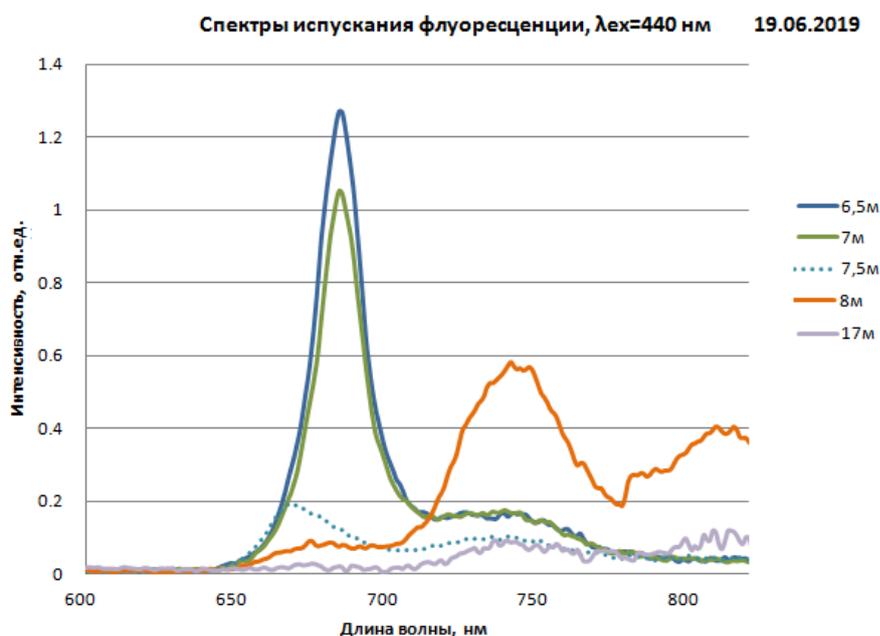


Рис. 19. Спектры испускания флуоресценции в пробах с разной глубины, отобранных в июне 2019 г. Спектры с глубины 6,5 м и 7 м с пиком хлорофилла «а», 7,5 м – со слабой

флуоресценцией Бхл зеленых серных бактерий, 8 м – с яркой флуоресценцией Бхл зеленых серных бактерий, с глубины 17 м со слабой флуоресценцией Бхл отмирающих клеток зеленых серных бактерий.

Выводы по разделу 4.1.

1. Получены спектры поглощения и флуоресценции воды с разной глубины оз. Могильного в июле, августе и октябре 2018 и в июне 2019 г.
2. Спектры поглощения существенно различаются на разной глубине. В поверхностных водах до глубины 5 м нет выраженных пиков поглощения, что говорит о малочисленности фотосинтезирующих организмов. На глубине 6,5 – 7 м обнаружены небольшие пики в области 670 нм, характерные для хлорофилла «а» водорослей и цианобактерий. В хемоклине в массе развиваются зеленые серные бактерии с бактериохлорофиллом, характеризующимся пиком поглощения света в районе 715. В придонном слое на глубине 13-16 м поглощения света на длинах волн фотосинтетических пигментов практически нет.
3. Анализ спектров поглощения и флуоресценции проб из розового слоя оз. Могильного свидетельствует, что доминирующей формой аноксигенных фототрофных бактерий здесь являются коричневоокрашенные зеленые серные бактерии, более требовательные к анаэробным условиям, чем пурпурные, которые в начале XX века отвечали за красноватый цвет этого слоя.
4. Отсутствие пика в дальней красной области с длиной волны более 800 нм указывает на то, что пурпурные серные бактерии в настоящее время не являются доминирующими.

4.2. Определение количественного распределения доминирующих фотосинтезирующих организмов по вертикали с применением методов спектрофотометрии и спектрофлуориметрии

Авторы: Пацаева С.В., Жильцова А.А. (Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова), Краснова Елена Дмитриевна (Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова), Воронов Дмитрий Анатольевич (ИПЭЭ РАН. Институт физико-химической биологии им. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова).

Методы

Для изучения количественного распределения бактерий в оз. Могильного пробы воды из разных горизонтов от поверхности до розового слоя пропускали через нитроцеллюлозный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, который улавливает бактерий, высушивали, и готовили ацетон-метаноловый экстракт (7:2). Спектры поглощения в диапазоне 315...900 нм м шагом 1 нм измеряли с помощью спектрофотометра Solar PV1251 в кюветах с длиной оптического пути 3 см. Концентрацию Бхл рассчитывали по формуле Оверманна⁴¹ с использованием коэффициента экстинкции для Бхл *d*. Спектры флуоресценции определяли в пробах воды без какой-либо их обработки при помощи флуориметра Solar CM2203.

⁴¹ Overmann J., Tilzer M.M. Control of primary productivity and the significance of photosynthetic bacteria in a meromictic kettle lake Mittlerer Buchensee, West-Germany // *Aquatic Sciences*. – 1989. – Vol. 51. – N 4. – Pp. 261-278.

Результаты

Июль 2018 г.

Толщина бактериального слоя в июне не превышала 30 см. На горизонтах, отделенных всего 20 см друг от друга интенсивность флуоресценции бактериохлорофилла различалась в несколько раз, причем в сероводородной части хемоклина она больше, чем на самой границе кислородного и сероводородного слоев.

Спектральные характеристики этого слоя (по поглощению света) и по возбужденной флуоресценции) характерны для коричнево-окрашенной формы зеленых серных бактерий, которые часто формируют плотную культуру в хемоклине беломорских прибрежных мезомиктических водоемов с морской соленостью.

Август 2018.

Спектр поглощения света слоя с максимальной интенсивностью красного цвета был точно таким же, как в июле с той разницей, что абсолютные величины оптической плотности были в августе больше (рис. 20. «Спектры поглощения света пробами воды из слоя с интенсивной красной окраской в июле и в августе 2018 г.»), что говорит о более интенсивном развитии коричневых серных бактерий.

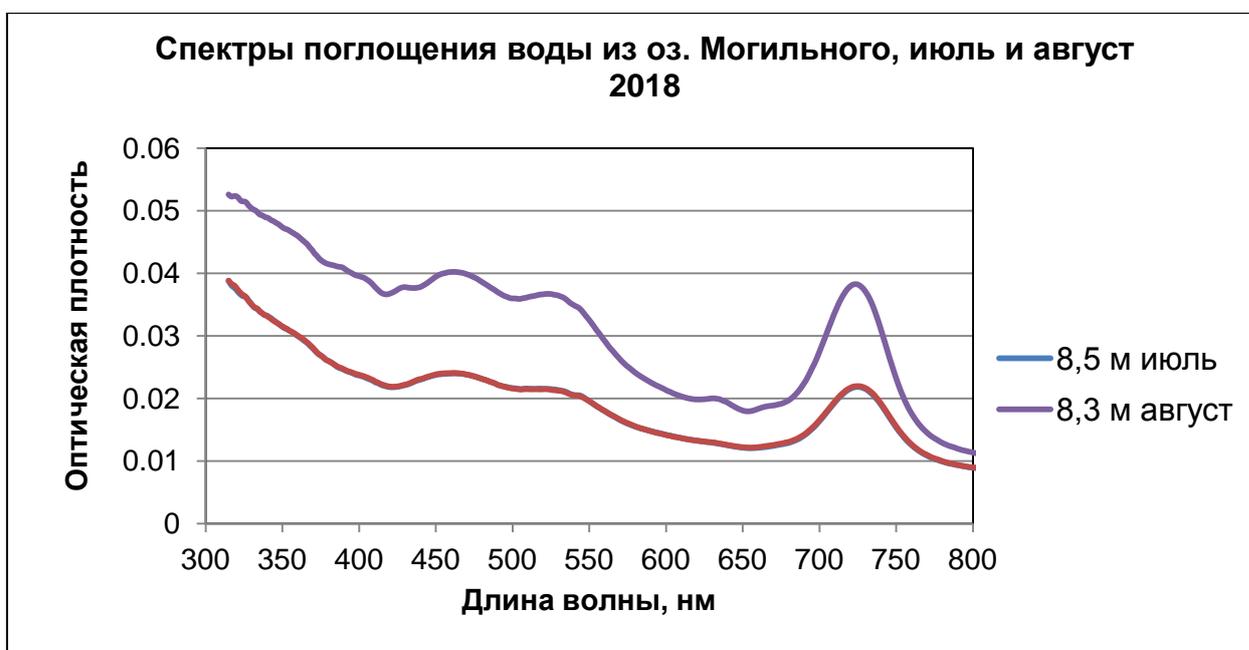


Рис.20. Спектры поглощения света пробами воды из слоя с интенсивной красной окраской в июле и в августе 2018 г.

Октябрь 2018 г.

В октябре самая высокая оптическая плотность в области поглощения света Бхл зарегистрирована на глубине 8,5 м, и величина оптической плотности была примерно такой же, как в августе. Как и в предыдущие месяцы, доминирующей формой фотосинтезирующих микроорганизмов были коричнево-окрашенные зеленые серные бактерии.

Июнь 2019 г.

В июне 2019 года в оз. Могильном в верхней части озера от поверхности до 5 глубины метров не обнаружено признаков ни хлорофилла «а», ни бактериохлорофиллов; в пробах с глубины 6, 6.5 и 7 м обнаружен Хл а, свойственный водорослям и цианобактериям.

Этого пигмента больше всего на 7 м, и довольно много на 6,5 м; на 7,5 м и 8 м обнаружены коричневоокрашенные ЗСБ (с Бхл «e»); на глубине 9-17 м зарегистрирован остаточный Бхл в очень небольшом количестве (рис. 20).

Максимальная концентрация Бхл «e», определенная по поглощению им света, приходится на горизонт 7,5 м, однако пик интенсивности его флуоресценции с ним не совпадает и находится на глубине 8 м, что, вероятно, связано с тем, что на глубине 8 м больше сероводорода, необходимого серобактериям для фотосинтеза. Еще один, совсем маленький, пик Бхл имеется возле дна, но там он не флуоресцирует. По всей видимости, этот пик создается нежизнеспособными клетками, которые опустились на дно.

Количественные данные

Количественное вертикальное распределение коричневоокрашенных серобактерий в толще воды оз. Могильного в июле, августе и октябре 2018 г. имело сходный характер: в аэробной зоне их не было, в небольших количествах они появляются вблизи хемоклина на горизонте 7 м, максимум численности приходится на верхнюю границу сероводородной зоны, которая в июле 2018 г. располагалась на глубине 7,8 м, в августе – на 8,3 м, в октябре – на 8,5 м, а в нижней части водоема серобактерий очень мало (рис. 21. Количественное вертикальное распределение Бхл коричневоокрашенных зеленых серных бактерий, которые в оз. Могильном являются доминирующими анаэробными фототрофами). Наибольшая численность анаэробных фототрофов зарегистрирована в июле 2018 г, несколько меньше – в августе, и почти вдвое меньше – в октябре. Данные по июню 2019 года к моменту составления отчета еще находились в обработке.

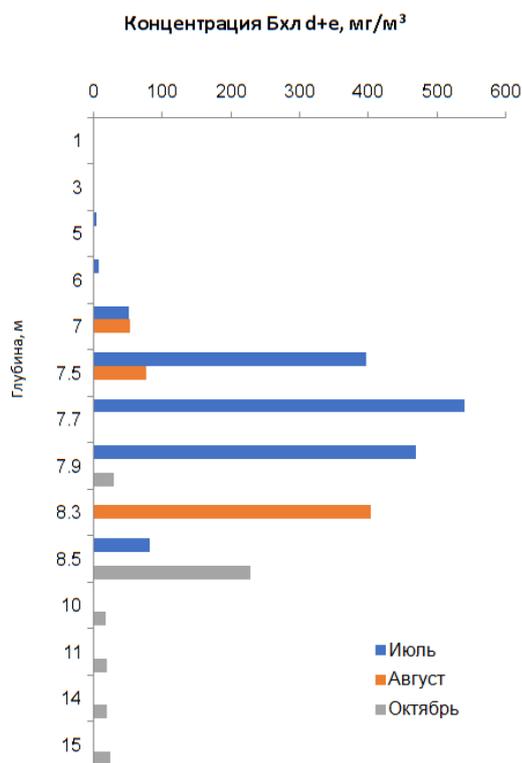


Рис. 21. Количественное вертикальное распределение Бхл коричневоокрашенных зеленых серных бактерий, которые в оз. Могильном являются доминирующими анаэробными фототрофами.

Выводы по разделу 4.2.

1. Наибольшая численность зеленых серных бактерий, доминирующих в розовом слое оз. Могильного, определенная по поглощению света Бхл «е», зарегистрирована в июле 2018 г, несколько меньше – в августе, и почти вдвое меньше – в октябре.
2. Максимум численности серобактерий приходится на верхнюю границу сероводородной зоны, которая в июле 2018 г. располагалась на глубине 7,8 м, в августе – на 8,3 м, в октябре – на 8,5 м.
3. Пик концентрации Бхл «е», определенной по поглощению им света, не всегда совпадает с пиком интенсивности его флуоресценции. Интенсивность флуоресценции, свидетельствующая об оптимальном физиологическом состоянии бактерий, больше в зоне с высоким содержанием сероводорода, необходимого серобактериям для фотосинтеза.

4.3. Изучение вертикального распределения массовых простейших с применением световой и флуоресцентной микроскопии

Автор: Краснова Елена Дмитриевна (МГУ им. М.В. Ломоносова).

Методы

Пробы воды, отобранные в ходе полевых исследований на оз. Могильном с шагом по вертикали 0,5 м по всей толще воды и 10 см в градиентной зоне, в холодильнике при температуре около +10°C транспортировали на Беломорскую биологическую станцию МГУ им.М.В. Ломоносова, расположенную на границе Мурманской области и Республики Карелия. Срок хранения проб не превышал 4 дней. Из каждой пробы отливали 15 мл и концентрировали центрифугированием в течение 10 минут при скорости 3000 об./мин. Финальный объем после сливания супернатанта - 0,15-0,25 мл. Осадок пипетировали и пробу просматривали тотально без фиксации. С помощью люминисцентного микроскопа Leica DM2500 регистрировали прижизненную флуоресценцию, которая облегчает регистрацию некоторых мелких форм пигмент-содержащих одноклеточных организмов, позволяет отличать по характеру флуоресценции мелких цианобактерий от зеленых пиководорослей и упрощает поиск на небольшом увеличении криптофитовых жгутиконосцев благодаря их яркой желто-оранжевой флуоресценции. Использовали фильтры возбуждающего света с максимумом 515-560 нм и запирающий фильтр с максимумом пропускания 580 нм. Оценку обилия массовых форм проводили по шкале, аналогичной используемой в геоботанике с градациями: «единичный» (не более 1 клетки на одном стекле препарата), «немногочисленный» (2-5 клеток; «многочисленный» (до 50 клеток), и «очень многочисленный» (более 50 клеток).

Результаты

Выявлены зоны с доминированием разных микроорганизмов (Рис. Вертикальная зональность сообществ микроорганизмов в оз. Могильном).

В поверхностном опресненном слое и нижележащем соленом аэробном слое микробиота представляет собой единое целое. В июле 2019 г. здесь наблюдалось массовое развитие диатомовых водорослей *Chaetoceros*, в августе от них остались только полуразрушенные останки и фитопланктон был бедным в количественном отношении, а в июне 2019 г. здесь снова в массе появился *Chaetoceros*, но наиболее многочисленными были мелкие кокки зеленого цвета, предположительно – цианобактерии.

Смена сообществ происходит на глубине 5 м, где *Chaetoceros* исчезают или становятся немногочисленными, а на первый план выходят мелкие зеленые жгутиконосцы и кокки-цианобактерии. Именно в этом слое замечено пересыщение кислородом, созданное, по всей вероятности этими фотосинтезирующими организмами.

Следующий рубеж находится на глубине 6-7 м, где кокков становится еще больше, и в массе появляются крупные простейшие с хищным типом питания. В июле 2018 г. это были динофлагелляты *Oxurhis marina* с максимумом численности на глубине 7,5-7,8 м, и инфузории *Paramecium* sp., максимум численности которых приходился на горизонт 7,7-7,8 м. В августе 2018 г. на глубине 7,5-8 м также царствовали динофлагелляты *Oxurhis marina*, клетки которых внутри были заполнены большим количеством съеденных кокков. В июне 2019 г. вместо *Oxurhis marina* в этом слое на горизонте 7,5 м отмечено массовое развитие инфузорий *Cyclidium* sp. с численностью порядка 700 кл./мл.

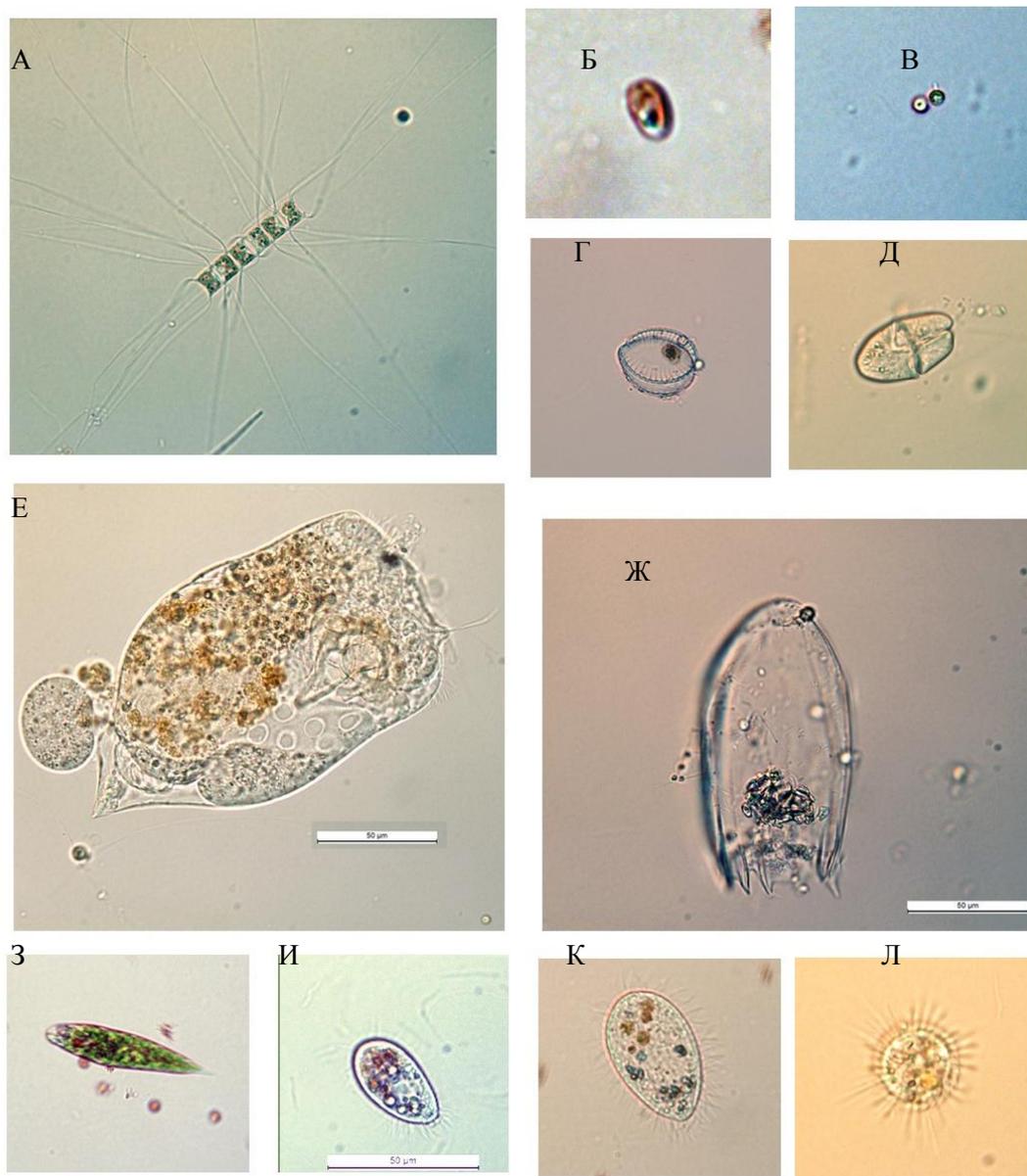
В пробах из розового слоя присутствует большое количество бактерий красно-коричневого цвета, образующих комки. В июне в небольшом количестве отмечены и пурпурные бактерии с гранулами серы внутри. Так же, как и в вышележащем слое, здесь много кокков-цианобактерий, которые, несмотря на присутствие сероводорода, сохраняют способность к флуоресценции.

С переходом в анаэробную зону из микроорганизмов остаются только бактерии, в том числе цианобактерии; численность и тех, и других по направлению ко дну постепенно уменьшается.

Массовое развитие криптофитовых жгутиконосцев красного цвета (предположительно *Rhodomonas* sp.) обнаружено в июне 2019 г., что подтверждает гипотезу о сходстве вертикальной зональности меромиктических водоемов морского происхождения в беломорском и баренцевоморском регионах. В водоемах такого рода криптофитовые жгутиконосцы разных видов образуют концентрированный слой в силу способности фотосинтезировать в условиях сильного затенения и переходить с автотрофного типа жизнедеятельности к гетротрофному (миксотрофии)^{42 43}. Они концентрируются на некоторой глубине возле хемоклина, куда доходит мало солнечного света, очень мало кислорода, и у фитопланктона дыхание преобладает над производством кислорода. Слой с криптофитовыми жгутиконосцами играет важную роль в экосистеме водоема. Они способны поедать бактерий и использовать продукты их жизнедеятельности и передавать первичную продукцию аноксигенного фотосинтеза вверх по трофической цепи. По сравнению с известными нам беломорскими водоемами, численность криптофитовых жгутиконосцев в оз. Могильном была очень мала. Нам еще предстоит уточнить их видовую принадлежность, для чего мы предполагаем секвенировать ген 18S РНК и сравнить с беломорским *Rhodomonas* sp.

⁴² Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н., Тодоренко Д.А., Белевич Т.А., Милютин И.А., Воронов Д.А. Цветение криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta, Ryzenomonadaceae) в редокс зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря // Микробиология. — 2014. — Т. 83, № 3. — С. 346–354.

⁴³ Krasnova E.D., Kharcheva A.V., Milyutina I.A., Voronov D.A., Patsaeva S.V. Study of microbial communities in redox zone of meromictic lakes isolated from the White Sea using spectral and molecular methods // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. – 2015. – Vol. 95, No. 8. – P. 1579-1590.



Некоторые представители планктона оз. Могильного в июне 2019 г.

А – *Chaetoceros*; Б – криптофитовый жгутиконосец (*Rhodomonas*); В – кокки-цианобактерии; Г – одноклеточная диатомовая водоросль; Д – динофлагеллята; Е – коловратка *Synchaeta*; Ж – панцирь коловратки *Keratella cochlearis*; З – *Euglena*; И, К – инфузории; Л – солнечник.

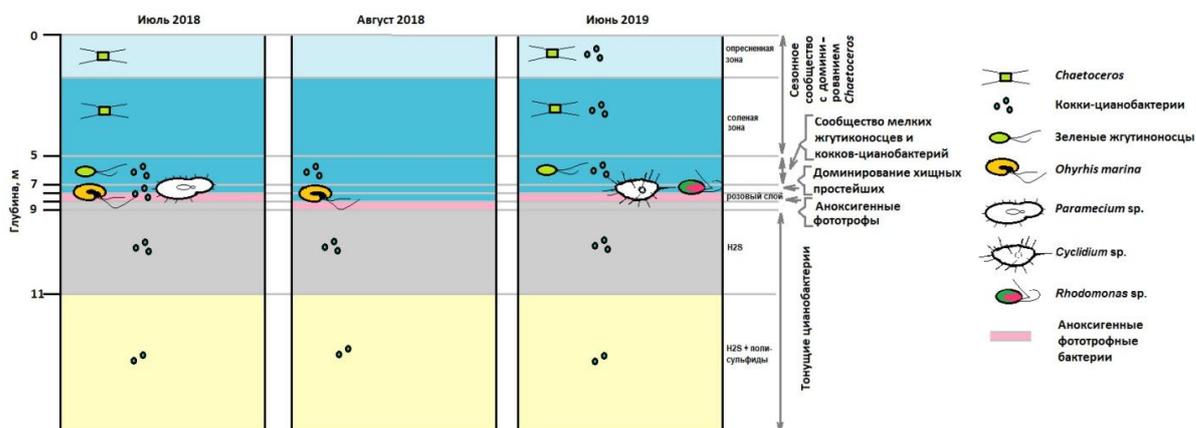


Рис. 22. Вертикальная зональность сообществ микроорганизмов в оз. Могильном.

Выводы по разделу 4.3.

1. На основании микроскопирования проб из оз. Могильного, отобранных через каждый метр, а в хемоклине – через 10 см, определены зоны с доминированием разных микроорганизмов.
2. Микробиота поверхностного опресненного слоя и нижележащего соленого аэробного слоев до глубины 5 м представляет собой единое целое. Фитопланктон здесь в количественном отношении беден. В летнее время облик этого сообщества определяют диатомовые водоросли из рода *Chaetoceros*.
3. На глубине 5 м происходит смена сообществ. На первый план выходят мелкие зеленые жгутиконосцы и кокки-цианобактерии, ответственные за пересыщение этого слоя кислородом.
4. Начиная с глубины 6-7 м в микроаэробной зоне до редокс-перехода отмечено массовое развитие крупных простейших с хищным типом питания, устойчивых к сероводороду.
5. В розовом слое, кроме коричневоокрашенных зеленых серных бактерий, замечены мелкие кокки-цианобактерии, которые, несмотря на присутствие сероводорода, сохраняют способность к флуоресценции.
6. В сероводородной зоне ниже розового слоя по направлению ко дну количество бактерий быстро уменьшается.
7. В июне 2019 г. обнаружен слой с криптофитовыми жгутиконосцами красного цвета (предположительно *Rhodomonas* sp.), но в меньшем количестве, чем в меромиктических водоемах на побережье Белого моря. Это подтверждает гипотезу о единстве закономерностей вертикальной зональности в меромиктических водоемах морского происхождения в беломорском и баренцевоморском регионах.

4.4. Исследование мелкомасштабного распределения простейших в зоне хемоклина с помощью оригинального пробоотборника собственной конструкции с дробностью 2,5 см по вертикали

В связи с тем, что слой с красной окраской имел толщину 0,3-0,5 м, применение пробоотборника высотой 30 см с разрешающей способностью 2,5 см, оказалось неэффективным, поскольку пробоотборник не может охватить весь слой и соседние бесцветные слои за один раз.

4.5. Состав фитопланктона, его вертикальное распределение и динамика

Автор: Ланге Е.К. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН)

Введение

Первые сведения о структуре видового состава фитопланктона озера Могильного получены в период исследований в 1909, 1921 гг. (февраль, май-сентябрь), когда было обнаружено 60 видов: к диатомовым водорослям относилось 47 (пennатных 44), к цианобактериям – 1, к зеленым и динофитовым – по 5, к кремнежгутиковым – 2 вида^{44, 45}. Продолжение изучения диатомовых водорослей произошло только через 50 лет, в мае 1972 г. В результате было определено 100 видов, 30 из которых оказались общими с видами из списка первой половины XX в. В начале августа 2008 г. из обнаруженных в планктоне 76 таксонов большая часть которых, как и ранее, относились к диатомовым (72%) в основном

⁴⁴ Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцевом море) // Труды Петергофского естест.-науч. института. – Л.: Главнаука, 1925. Т. 2. – 111 с.

⁴⁵ Реликтовое озеро Могильное. – Л.: изд-во «Наука», 1975. – 298 с.

к пеннатным^{46 47 48 49 50 51}. Появились новые таксоны из числа цианобактерий (*Lyngbya* sp., *Oscillatoria* spp. (ранее указаны для фитобентоса (Шунатова, электр. источник)), *Anabaena mendotae* Trelease, Chroococcales gen. sp.1, *Merismopedia glauca* (Ehr.) Kütz., *Aphanocapsa* sp.); зеленых (*Monoraphidium komarkovae* Nygaard (ранее определена как *Koliella longiseta* (Vischer) Hind.), *Quadricoccus euryhalinicus* Kuylenstierna, *Cosmarium* sp.), динофитовых (*Protoperidinium bipes* (Pauls.) Balech, *Oxyrrhis marina* Dujardin (ранее – *Gymnodiniales* gen. sp.), криптофитовых (Cryptomonadales gen. sp.1) и эвгленовых⁵². Часть видов из списка К.М. Дерюгина (1925) в 2008 г. встречены не были, вероятно, из-за возможных сезонных колебаний в структуре фитопланктона. В дополнение к списку следует указать находки в 2002-2005 гг. цианопрокариот *Synechocystis sallensis* Skuja и *Phormidium ambiguum* Gom.⁵³ и единичные сведения о доминантных видах, впервые отмеченных в июне 1999 г.: морской диатомовой *Asterionella bleakeleyi* W. Sm. (до 54 млн. кл./л в верхнем опресненном слое воды), *Chaetoceros socialis* Lauder (до 28 тыс. кл./л, глубина 3 м), зеленой *Lagerheimia genevensis* (Chodat) Chodat (до 310 тыс. кл./л, глубина 4 м)⁵⁴. Обнаружено, что структурно-функциональные характеристики фитопланктона оз. Могильного в 2008 г. менялись в соответствии с профилем солености: в верхнем 3-х метровом слое были обильны 3 вида – диатомовые *Chaetoceros muelleri* Lemm. и *Diatoma tenuis* C. Agardh (соответственно до 78 и 38% от общей биомассы) и цианобактерия *Dolichospermum mendotae* (Trel.) Wacklin, L. Hoffmann et Komárek⁵⁵.

Целью исследований 2018 г. стало продолжение изучения пространственно-временного распределение структурно-функциональных показателей фитопланктона в акватории меромиктического оз. Могильного.

Материалы и методы

В июле-августе 2018 г. пробы фитопланктона объемом 0.5 л отбирали в прибрежной зоне (ст. G18, G26, G31, глубина 0.5 м) с поверхности и на ст.1 – на горизонтах 0, 1, 3, 5, 7.5 и 8 м. Для консервации проб использовали раствор Люголя с добавлением формалина

⁴⁶ Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Находки видов Chaetoceros (Bacillariophyta) в озере Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2013. Т. 47. С. 54–61.

⁴⁷ Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Центрические и бесшовные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) водной толщи реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2014. Т. 48. – С. 66–80.

⁴⁸ Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Ахнатоидные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2015. Т. 49. – С. 13–31.

⁴⁹ Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Цимбеллоидные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2016. Т. 50. – С. 43–55.

⁵⁰ Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Навикулоидные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2018. Т. 52(1). – С. 13–32.

⁵¹ Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Амфороидные и каналшовные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2019. Т. 53 (1). – С. 15–38.

⁵² Ланге Е.К. Сообщество фитопланктона меромиктического озера Могильное (о-в Кильдин, Баренцево море) // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки: тезисы докл. междунар. науч. конф. (Мурманск, 10-12 марта 2010 г.) – Апатиты: КНЦ РАН, 2010. – С. 126–128.

⁵³ Давыдов Д.А. Аннотированный список цианопрокариот Мурманской области. I. Chroococcales // Новости систематики низших растений. 2009. Т. 43. – С. 50-62.

⁵⁴ Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997-2000 гг.) // Коллектив авторов. Мурманск: изд-во ПИН-РО, 2002. 164 с.

⁵⁵ Ланге Е.К., Гогорев Р.М. Современные диатомовые меромиктического озера Могильное (о. Кильдин, Баренцево море) // Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия: Материалы XII междунар. науч. конф. диатомологов, Москва, 19–24 сентября 2011 г. М., 2011. – С. 101–104.

и уксусной кислоты⁵⁶. Пробы сгущали стандартным методом седиментации⁵⁷, подсчитывали в камере Нажотта объемом 0,02 мл в проходящем свете, используя микроскоп «Ergaval» (Karl Zeiss Jena) при увеличении x256 и x640. За счетную единицу фитопланктона принималась клетка. Биомассу фитопланктона рассчитывали счетно-объемным методом⁵⁸. К доминантам относили виды и группы водорослей, составившие более 10% от общей численности и/или биомассы фитопланктона в пробе. В работе использована номенклатура водорослей и формулы расчета индивидуальных объемов, принятые в программе международного мониторинга Балтийского моря [<http://www.ices.dk/marine-data/data-portals/Pages/DOME.aspx>].

Результаты и обсуждение

Таксономический состав

В 2018 г. позднелетний фитопланктон оз. Могильного был представлен 32 таксонами микроводорослей, среди них 8 – динофитовых (Dinophyta), 7 – диатомовых (Bacillariophyceae), 6 – цианобактерий (Cyanobacteria), 5 – зеленых (Chlorophyta), 4 – криптофитовых (Cryptophyta), 2 – эвгленовых (Euglenophyta), кроме того, неидентифицированные жгутиковые и коккоидные формы, отнесенные к группе Flagellata и фотосинтезирующая инфузория (Ciliophora) (табл. 8, рис. 23).

Таблица 8. Таксономический состав фитопланктона в озере Могильном в 2018 г.

Таксон	Питание
Отдел Cyanobacteria (Cyanophyta)	
Класс Cyanophyceae	
Порядок Chroococcales	
<i>Aphanothece spp.</i>	A
<i>Cyanodictyon spp.</i>	A
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehr.) Kütz.	A
Порядок Oscillatoriales	
<i>Oscillatoria spp.</i>	A
<i>Lyngbya aestuarii</i> Liebman ex Gomont	A
Порядок Nostocales	
<i>Dolichospermum mendotae</i> (Trel.) Wacklin, L. Hoffmann et Komárek	A
Отдел Cryptophyta	
Класс Cryptophyceae	
Порядок Cryptomonadales	
Cryptomonadales gen. sp.1 #4-5x8-10 мкм	A/M
Cryptomonadales gen. sp. 2 #7-8x10-12 мкм	A/M
Порядок Pyrenomonadales	
<i>Rodomonas marina</i> (Dang.) Lemm.	A
Cryptophyta incertae sedis	
<i>Leucocryptos marina</i> (Braarud) Butcher	

⁵⁶ Кузьмин Г.В. Фитопланктон. Видовой состав и обилие // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. – С.73-87.

⁵⁷ Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем //Под ред. Абакумова В.А. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.

⁵⁸ HELCOM, Baltic Marine Environmental Protection Commission – Helsinki Commission Guidelines for the Baltic Monitoring Programme for the third stage; Part D. Biological Determinands, 27 D. 1988. – 161 pp.

Таблица 8. Продолжение.

Отдел Dinophyta	Г
Класс Dinophyceae	
Порядок Gymnodiniales	
<i>Amphidinium crissum</i> Lohmann	Г
<i>Amphidinium spp.</i>	Г
<i>Gymnodinium spp.</i>	Г
<i>Katodinium glaucum</i> (Lebour) Loeblich III	Г
Порядок Охырринаles	
<i>Oxyrrhis marina</i> Dujardin	Г
Порядок Peridinales	
<i>Heterocapsa rotundata</i> (Lohmann) G.Hansen	А
<i>Heterocapsa triquetra</i> (Ehr.) Stein	М
<i>Oblea rotunda</i> (Lebour) Balech ex Sournia	Г
Отдел Heterokonta	
Класс Bacillariophyceae	
Порядок Eupodiscales	
<i>Chaetoceros muelleri</i> Lemm.	А
<i>Melosira arctica</i> Dickie	А
<i>Skeletonema marinoi</i> Sarno & Zingone	А
<i>Thalassiosira spp.</i>	А
Порядок Pennales	
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehre.) Reimann & J.C.Lewin	А
<i>Diatoma tenuis</i> Ag.	А
<i>Rhabdonema minutum</i> Kütz.	А
Отдел Euglenophyta	
Класс Euglenophyceae	
Порядок Euglenales	
? <i>Euglena spp.</i> 1,2	А/М
Отдел Chlorophyta	
Класс Chlorophyceae	
Порядок Sphaeropleales	
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	А
<i>Monoraphidium komarkovae</i> Nygaard	А
Класс Pyramimonadophyceae	
Порядок Pyramimonadales	
<i>Pyramimonas spp.</i> #3x4 мкм	А
<i>Pyramimonas spp.</i> # 5x5-8 мкм	А
Класс Ulvophyceae	
Порядок Ulotrichales	
<i>Ulothrix pseudoflaccida</i> Wille	А
Жгутиковые и коккоидные формы 3-10 мкм	
Отдел Ciliophora	
Класс Litostomatea	
Порядок Cyclotrichiida	
<i>Mesodinium rubrum</i> (Lohmann) Hamburger et Buddenbrock	М



Chaetoceros muelleri
(спора: 10x12 мкм)



Chroococcales (1x1-1.5 мкм)
Heterocapsa rotundata
(7-10x12-15 мкм)



Pyramimonas spp.
(А – 3x4, Б – 5x5-8 мкм)



Monoraphidium komarkovae (1.5x50-80 мкм)



Oxyrrhis marina
(13-18x25-35 мкм)



Euglenales
(10-12x70-75 мкм)



Melosira arctica
(12-13x25 мкм)



Oblea rotunda (22-28 мкм)

Рисунок 23 – Некоторые микроводоросли из оз. Могильного, июль-август 2018 г. (СМ)

Таксономическое разнообразие позднелетних фитоценозов исследованных участков озера варьировало от 4 до 12 таксонов. В июле в пределах одно метрового верхнего слоя в условиях сравнительно низкой солености (5.4 ‰) и высокой температуры воды (20.3°C) в глубоководной части (ст. 1) и в прибрежной зоне озера (ст. G18, G26, G31) колебания составили 7-10 таксонов (медиана 8). В оба срока в слое 5-8 м, где термохалинный режим характеризовался величинами 23-28‰ и менее 11°C, число таксонов варьировало от 4 до 10 (медиана 7). Наибольшее богатство видов (11-12) отмечено при температуре 14-15.7°C и солености 14.4-15‰ на глубине 3 м (оба срока), а также в августе (горизонт 1 м) – при 7.1 ‰ и 12.8°C.

В июле в литоральной зоне и в водной толще практически на всех исследованных горизонтах обнаружена цианобактерия *Dolichospermum mendotae* и диатомовая *Chaetoceros muelleri*, активная вегетация последней происходила в верхнем 3-х метровом слое, ниже которого в основном встречались споры этого вида (рис. 1). К постоянной компоненте фитопланктона относились также мелкоклеточные динофитовые *Gymnodinium spp.* (горизонт 0-1 м), зеленые *Monoraphidium contortum* и фотосинтезирующая инфузория *Mesodinium rubrum* (0-3 м), *Monoraphidium komarkovae* и динофитовая *Oblea rotunda* (0-6 м), *Oxyrrhis marina* (6-7.5 м) (рис. 1). В августе в планктоне встречались только споры *Chaetoceros muelleri* (на глубине до 5 м). Виды *M. komarkovae* и *O. rotunda* продолжали вегетировать в верхнем слое до горизонта 5 м, где кроме них развилась цианобактерия *Oscillatoria spp.* В слое на глубине 3-8 м появлялись колонии мелкоклеточных цианобактерий Chroococcales #1x1-1,5 мкм (рис. 1). Динофитовая *O. marina* так же, как и в июле, вегетировала на глубине 7-8 м, где в августе ей сопутствовали виды эвгленовых. Граница распространения зеленых празиофитовых *Pyramimonas spp.* (рис. 1) в толще воды расширялась до 7.5 м против 1-3 м в июле. Группа Flagellata в оба срока наблюдений встречалась во всей толще воды глубоководной части озера (ст. 1).

В период исследования десятилетней давности, в конце июля-начале августа 2008 г., всего было отмечено 42 таксона⁵⁹, из них диатомовых (21 вид; в настоящее время в планктонных сборах 2008 г. идентифицировано 55 видов диатомовых), цианобактерий – 8, динофитовых – 7, зеленых – 5, криптофитовых – 1 таксон. В открытой части озера в верхнем 2.5 метровом слое воды, при солености до 4 ‰ и температуре 10.4 °C, фитоценозы станций насчитывали 7-10 таксонов и имели сходную структуру: цианобактерия *Anabaena mendotae*, мелкоклеточные колонии порядка Chroococcales; диатомовые *Chaetoceros muelleri*, *Chaetoceros sp.*, *Diatoma tenuis* Ag.; зеленые *Monoraphidium komarkovae* (ранее определена как *Koliella longiseta* (Vischer) Hind.), *Quadricoccus euryhalinicus* Kuylenstierna. На глубине 9-11-ти метров из состава микроводорослей исчезали виды зеленых и род *Chaetoceros*, появлялись виды динофитовых (*O. marina*) и эвгленовых. В литоральной зоне вдоль северного берега, где в озеро впадали мелкие пресные водотоки, по сравнению с южным мористым таксономическое разнообразие фитопланктона за счет большего числа видов диатомовых (11-14 таксонов против 3-7) было выше – 19-22 и 10-12 соответственно.

Доминанты

В 2018 г. в доминантный комплекс вошло 7 таксонов микроводорослей (табл. 9).

В конце июля в прибрежной зоне (ст. G18, G26, G31) и на глубоководной ст. 1 (слой 0-5 м) основной фон фитопланктона определяли диатомовые (рис. 2, 3), лидировал *Chaetoceros muelleri*⁶⁰ (табл. 9).

Центрическая диатомовая *Chaetoceros muelleri*, солоноватоводный неритический бо-реальный вид, олигосапробионт, алкалифил, развивается при температуре 8.0–27.9 °C и

⁵⁹ Ланге Е.К., Гогорев Р.М. Современные диатомовые меромиктического озера Могильное (о. Кильдин, Баренцево море) // Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия: Материалы XII междунар. науч. конф. диатомологов, Москва, 19–24 сентября 2011 г. М., 2011. – С. 101–104.

солености 2.0–28.5‰⁶¹. По мнению К. Krammer и Н. Lange-Bertalot (1991), вид имеет космополитное распространение в солоноватых водах прибрежных районов морей и внутриконтинентальных водоемов. В арктическом регионе имеет ограниченное распространение: Белое, Карское и Чукотское моря, Кольский залив Баренцева моря – и не входит в комплекс доминантных видов^{62 63}. В начале прошлого века *Chaetoceros muelleri* не был отмечен в планктоне оз. Могильного⁶⁴. Позднее, в 1970-х гг. были обнаружены его споры в илах на глубине 15 м в небольшом количестве и в более глубоких отложениях субатлантического периода с оценкой «нередко»⁶⁵.

Наибольшего развития диатомея достигала в пределах 0-3 м, где ее средняя численность составила 12.5±1.1 млн.кл./л (максимум 15.9 млн.кл./л), биомасса – 3.35±0.28 г/м³ (4.27 г/м³). Наибольшие значения зафиксированы в поверхностном слое при солености 5.4 ‰ и температуре 20.3 °С. В аналогичные сроки 2008 г. вид *Ch. muelleri* также доминировала во всей толще водного слоя 0-6 м с максимумом 11.7 млн. кл./л и 3.3 г/м³ в пределах 0-2.5 м (3.5‰, 10 °С)⁶⁶, что было сравнимо с уровнем вегетации диатомовой в 2018 г.

⁶¹ Гогорев Р.М., Орлова Т.Ю., Шевченко О.Г., Стоник И.В. Диатомовые водоросли России и сопредельных стран: Ископаемые и современные / Под ред. Н. И. Стрельниковой. – СПб., 2006. Т. 2, вып. 4. – 180 с.

⁶² Ильяш Л. В., Житина Л. С., Федоров В. Д. Фитопланктон Белого моря. – М.: «Янус-К», 2003. 168 с.

⁶³ Макаревич П.Р. Планктонные альгоценозы эстуарных экосистем. – М.: Наука, 2007. – 223 с.

⁶⁴ Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцевом море) // Труды Петергофского естест.-науч. института. – Л.: Главнаука, 1925. Т. 2. – 111 с.

⁶⁵ Реликтовое озеро Могильное. – Л.: изд-во «Наука», 1975. – 298 с.

⁶⁶ Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Находки видов *Chaetoceros* (Bacillariophyta) в озере Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2013. Т. 47. С. 54–61.

Таблица 9. Доминанты позднелетнего фитопланктона в озере Могильном в 2018 г.
Примечание: численность/биомасса; д – доминант; «+» – наличие; «-» – отсутствие

Таксон	<i>Chroococcales</i> (<i>Aphanothece</i> spp., <i>Cyanodictyon</i> spp.)	<i>Chaetoceros muelleri</i>	<i>Heterocapsa rotundata</i>	<i>Oblea rotunda</i>	<i>Oxyrrhis marina</i>	<i>Monoraphidium komarkovae</i>	Flagellata
Станция_горизонт_дата							
G26_0m_26.07	-	д/д	-	+	-	+	-
G18_0m_26.07	-	д/д	-	-	-	+	-
G31_0m_26.07	-	д/д	-	+	-	+	-
1_0m_26.07	-	д/д	+	+	-	д/+	+
1_1m_26.07	-	д/д	+	+	-	д/д	+
1_3m_26.07	-	д/д	-	+	-	д/+	+
1_5m_26.07	-	д/д	+	+	-	+	д/+
1_6m_26.07	-	+/д	-	+	+	-	д/+
1_7.5m_26.07	-	-	-	-	д/д	-	д/+
1_1m_22.08	-	+	+	+/д	-	д/д	д/+
1_3m_22.08	д/+	+	+/д	+	-	д/д	д/+
1_5m_22.08	д/д	+/д	-	+	-	+/д	+
1_7m_22.08	д/+	-	+	-	+/д	-	+
1_7.5m_22.08	+	-	-	-	д/д	-	д/+
1_8m_22.08	д/+	-	-	-	д/д	-	д/+

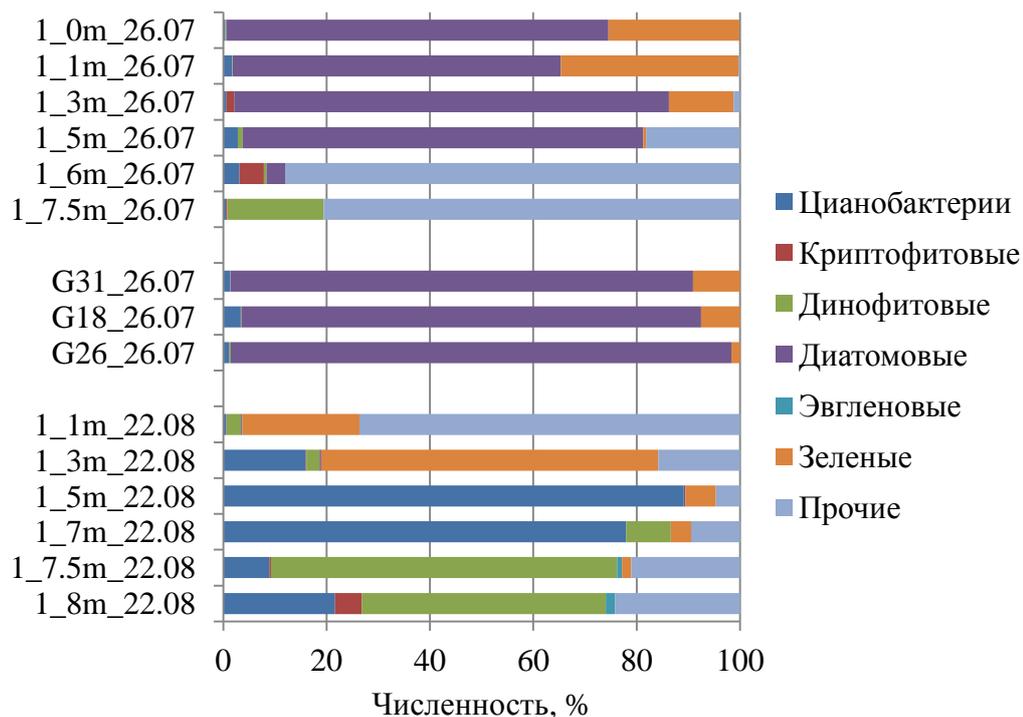


Рисунок 24. Пространственно-временное распределение относительной численности систематических групп фитопланктона в озере Могильном в 2018 г. («Прочие» – группа Flagellata).

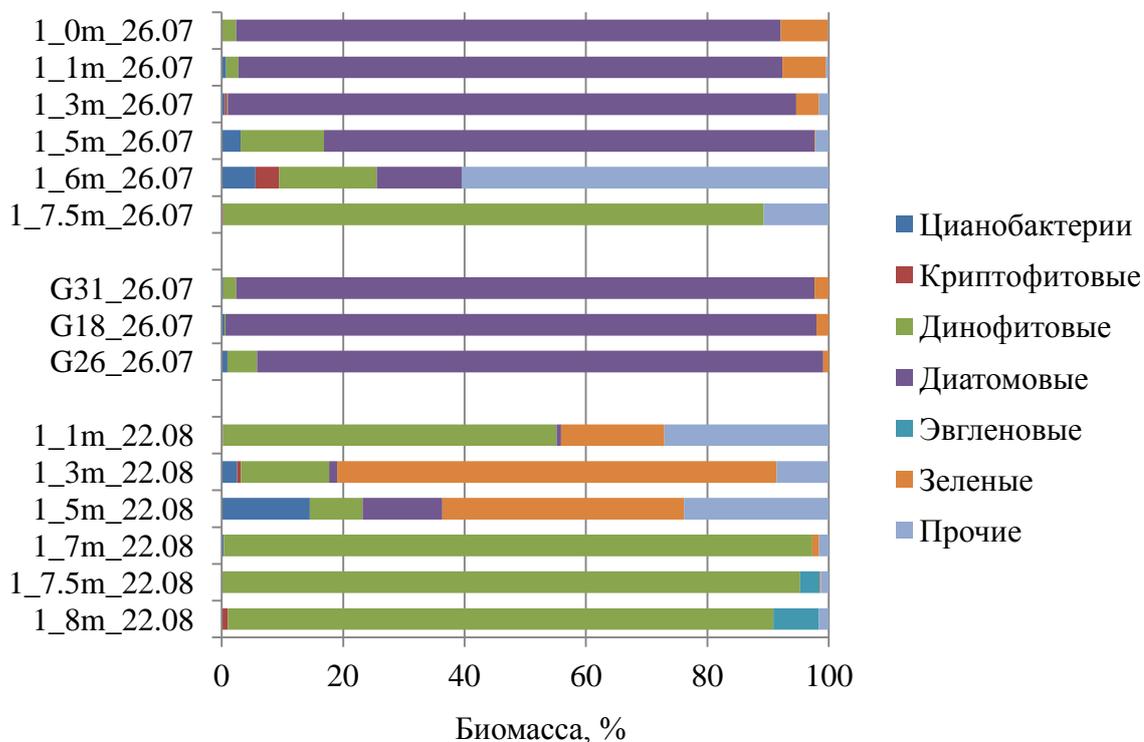


Рисунок 25. Пространственно-временное распределение относительной биомассы систематических групп фитопланктона в озере Могильном в 2018 г. («Прочие» – группа Flagellata)

В верхнем солоноватоводном слое озера два других вида-доминанта июльского фитопланктона 2008 г. в соответствующие сроки 2018 г. в планктоне не доминировали, а встречались «постоянно» как цианобактерия *A. mendotae*, или относились к «случайным» как диатомовая *Diatoma tenuis*.

Отличительной особенностью 2018 г. было доминирование зеленых в фитопланктоне открытой части озера (ст. 1) в слое 0-3 м (июль) и 0-5 м (август) (рис. 2, 3) за счет вегетации *Monoraphidium komarkovae* (Пресноводный вид согласно http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=34676) (рис. 24, табл. 9). В озере этот вид вегетировал в солоноватоводных условиях верхнего горизонта с наибольшим обилием: в июле в слое 0-1 м – 5-5.4 млн. кл./л и 0.33-0.37 г/м³ (соленость 5.4 ‰, температура 20.3 °С); в августе на глубине 3 м – 7.5 млн. кл./л и 0.51 г/м³ (при 15 ‰ и 14.3 °С).

Наряду с зелеными основу биомассы августовского фитопланктона обеспечивали и динофитовые (рис. 25). На глубине 1 м (соленость 7 ‰, температура 12.8 °С) превалировал с биомассой 0.35 г/м³ при численности 47 тыс. кл./л. гетеротрофный морской вид *Oblea rotunda* (теплолюбивый предпочитающий эвтрофные условия вид⁶⁷). В сходных условиях данный вид развивался на юго-востоке Франции в небольшом солоноватоводном эвтрофном пруду (площадь 0.58 км², соленость до 6.2 ‰), связанном с лиманом, в феврале-апреле 2002 г. (температура 7-23 °С)⁶⁸. Было обнаружено, что *O. rotunda* stenothermный вид с оптимумом 13 °С (рис. 1). Кроме него в верхнем слое с максимумом (0.29 млн. кл./л, 0.1 г/м³) на глубине 3 м доминировала автотрофная морская динофлагеллята *Heterocapsa rotundata* (в условиях сниженной освещенности способна переходить от фототрофии к частичному гетеротрофному питанию, поглощению пикопланктона, включая бактерии⁶⁹) (рис.23). Гетеротрофные динофлагелляты часто связаны с цветением автотрофных видов, главным образом диатомовых и динофлагеллят. В 2018 г. пространственное распределение *Oblea rotunda* ограничивалось слоем 0-1 м, где его численность составила 7-47 тыс. кл./л, против ≤ 1 тыс. кл./л на глубине 3-5 м. В июле объектом питания *O. rotunda* могла быть диатомовая *Ch. muelleri*, цветение которой отмечено на том же горизонте, в августе – динофитовая *Heterocapsa rotundata*, вспышка которой (0.12-0.29 млн. кл./л) наблюдалась на глубине 1-3 м (ст. 1). Объектом питания *O. rotunda* в условиях оз. Могильного в 2018 г. могли быть и вегетирующие в основном в августовском планктоне зеленые празиофитовые *Pyramimonas spp.*, на такую возможность указывается в работе⁵⁹. Виды *O. rotunda* и *H. rotundata* могут служить индикатором соотношения общего азота и фосфора (TN:TP), величина которого при их развитии составляет >16:1⁷⁰.

В 2018 г. в зоне под галоклином в практически анаэробных условиях (изобата 7-8 м), как и в 2008 г., обилие фитопланктона в основном формировали динофитовые (рис. 25) гетеротрофная динофитовая *Oxvrrhis marina* (рис. 23). Максимальный уровень вегетации *O. marina* (ранее была отнесена к порядку Gymnodinales⁷¹) в июле 2008 г. составил 0.7 млн. кл./л (численность) и 1.12 г/м³ (биомасса) (изобата 9 м). В 2018 г. этот вид превалировал на глубине 7-8 м (соленость выше 27 ‰, концентрация O₂ < 1 мг/л) с более высокими ве-

⁶⁷ Kononen K., Niemi Ä. Variation in phytoplankton and hydrography in the outer archipelago at the entrance to the Gulf of Finland in 1968-1975 // Finnish. Mar. Res. 1986. No 253. – P. 35-51.

⁶⁸ Chomérat N., Couté A., Fayolle S., Mascarell G., Cazaubon A. Morphology and ecology of *Oblea rotunda* (Diplopsalidaceae, Dinophyceae) from a new habitat: a brackish and hypertrophic ecosystem, the Étang de Bolmon (South of France) // European Journal of Phycology. 2004. 39: 317-326.

⁶⁹ Millette N.C., Pierson J.J., Aceves A., Stoecker D.K. Mixotrophy in *Heterocapsa rotundata*: A mechanism for dominating the winter phytoplankton // Limnology and Oceanography. 2017.62 (2): 836–845.

⁷⁰ Rothenberger M.B., Burkholder J.M., Wentworth T.R. Use of long-term data and multivariate ordination techniques to identify environmental factors governing estuarine species dynamics. Limnology and Oceanography. 2009. 54 (6): 2107-2127. DOI: 10.4319/lo.2009.54.6.2107

⁷¹ Ланге Е.К. Сообщество фитопланктона меромиктического озера Могильное (о-в Кильдин, Баренцево море) // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки: тезисы докл. междунар. науч. конф. (Мурманск, 10-12 марта 2010 г.) – Апатиты: КНЦ РАН, 2010. – С. 126–128.

личинами обилия в августе – 2.63 млн. кл./л и 5.73 г/м³ (изобата 7.5 м). Вместе с *O. marina* в оба года развивались также эвгленовые (рис. 23), но в незначительных количествах.

Практически во всей водной толще основу численности обеспечивала группа мелко-клеточных форм из Flagellata (табл. 9, рис. 23). В июле массовая вегетация представителей этой группы отмечена в прибрежье и в слое 0-3 м в открытой части озера (ст. 1), где численность Flagellata составила 15.3±1.5 млн. кл./л (максимум 22 млн. кл./л, ст. 1 (0 м), 5.4‰ и 20.3 С). В слое с повышенной соленостью (> 23‰) и низкой температурой (10.4°C) на глубине 5-7.5 м численность уменьшалась в 25 раз. В августе резкого температурного скачка по вертикали не наблюдалось, в верхнем 5-ти метровом слое при более низкой температуре, чем в июле, средняя численность Flagellata была ниже и составила 10±1.1 млн. кл./л, что превысило аналогичное значение в слое 7-8 м не более чем в 4 раза. Вероятно, мелкоклеточные группы Flagellata большей частью относились к теплолюбивым формам. Эта группа могла служить пищей для *Oxurthis marina*, т.к. она превалировала в фитопланктоне в слое вегетации указанного гетеротрофа.

Цианобактерии преимущественно за счет мелкоклеточных колоний Chroococcales (*Aphanothese spp.*, *Cyanodictyon spp.*) (рис. 23) доминировали в августе в открытой части озера на глубине 3-8 м (ст. 1) (табл. 9, рис. 24, 25).

Обилие фитопланктона

Численность позднелетнего фитопланктона озера Могильного варьировала в столбе воды от 0.36 до 15.92 млн. кл./л (рис. 26).

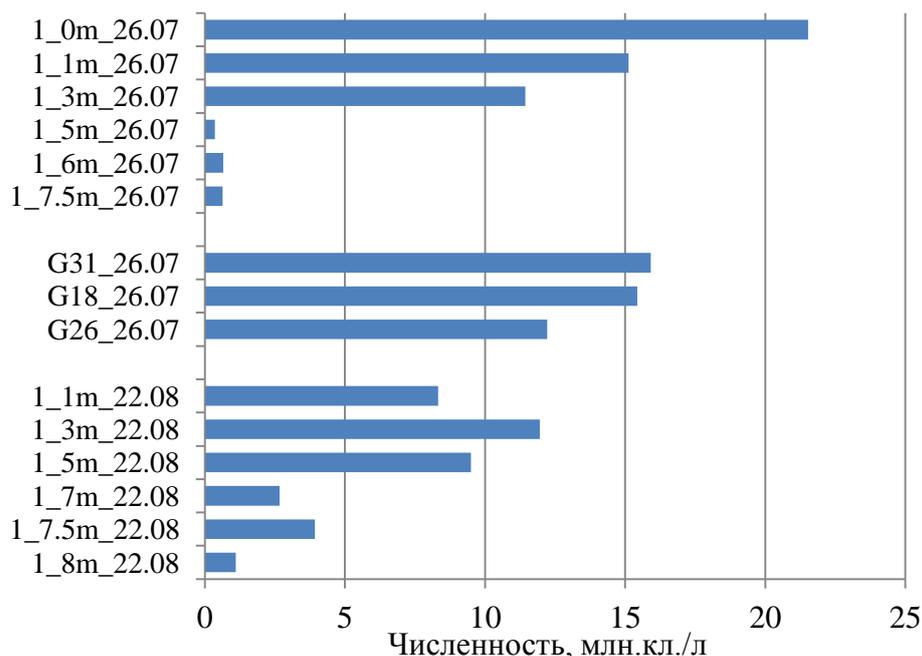


Рисунок 26. Пространственно-временное распределение численности фитопланктона в озере Могильном в 2018 г.

Больше 10 млн. кл./л отмечено в прибрежной зоне и в пределах верхнего слоя до глубины 3 м за счет вегетации: в июле – диатомовых и зеленых, в августе – цианобактерий, зеленых и Flagellata. В слое воды на глубине 5-8 м с изменением термохалинного режима происходило снижение величины численности, что в большей степени наблюдалось в июле.

Диапазон колебания величины биомассы составил 0.05-6.08 г/м³ (рис. 27).

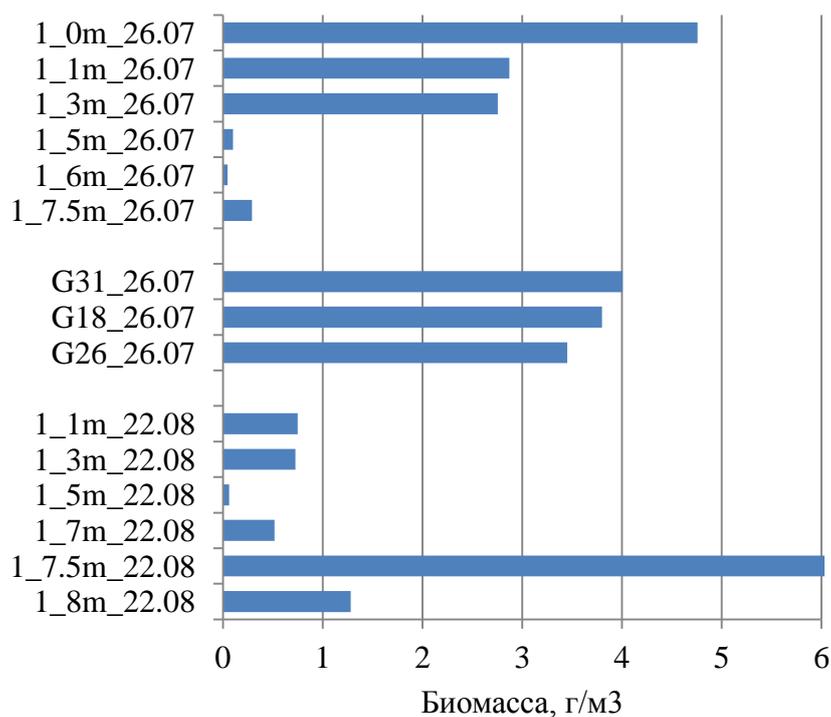


Рисунок 27. Пространственно-временное распределение биомассы фитопланктона в озере Могильном в 2018 г.

В июле при доминировании диатомовых наибольшая биомасса фитопланктона ($> 2 \text{ г/м}^3$) (рис. 27) отмечалась на тех же горизонтах, что и наибольшая численность. На глубоководных горизонтах происходило снижение величины биомассы в среднем в 24 раза, с 3.61 ± 0.31 до $0.15 \pm 0.07 \text{ г/м}^3$. В августе, наоборот, наибольшая продуктивность фитопланктона (биомасса $1.28\text{-}6.08 \text{ г/м}^3$) была ассоциирована с горизонтом 7.5-8 м, где при дефиците кислорода и сниженной инсоляции развивалась гетеротрофная динофитовая *Oxyrrhis marina*. В верхнем слое (до 7 м) биомасса в среднем составила $0.51 \pm 0.15 \text{ г/м}^3$.

Заключение

В позднелетнем фитопланктоне 2018 г. обнаружено 19 новых для экосистемы оз. Могильного солоноватоводных-морских видов – цианобактерии (*Aphanothece spp.*, *Cyanodictyon spp.*, *Lyngbya aestuarii*), криптофитовые (*Rodomonas marina*, *Leucocryptos marina*), динофитовые (*Amphidinium crissum*, *Amphidinium spp.*, *Gymnodinium spp.*, *Katodinium glaucum*, *Heterocapsa rotundata*, *Heterocapsa triquetra*, *Oblea rotunda*), диатомовые (*Skeletonema marinoi*, *Thalassiosira spp.*, *Cylindrotheca closterium*, *Rhabdonema minutum*), зеленые (*Monoraphidium contortum*, *Pyramimonas spp.*, *Ulothrix pseudoflacca*), что определялось продолжающимся осолонением верхнего слоя воды (глубина 0-3 м).

Таксономическое разнообразие фитоценозов, как и в 2008 г., в открытой части озера оставалось низким (до 12 таксонов), с тенденцией его сокращения в слое, обедненном кислородом (глубина 7-8 м). В прибрежной зоне северного берега сравнительно высокое разнообразие видов диатомовых, отмеченное в 2008 г., в 2018 г. не наблюдалось, что могло быть следствием пересыхания пресноводных ручьев, впадающих в озеро.

В июле над галоклином на всей исследованной акватории озера доминировала диатомовая *Chaetoceros muelleri* (в среднем 12.5 ± 1.1 млн.кл./л, $3.35 \pm 0.28 \text{ г/м}^3$), что соответствовало аналогичным данным 2008 г. Отличительной особенностью 2018 г. было доминирование зеленых в фитопланктоне открытой части озера в солоноватоводном слое 0-3 м (июль) и 0-5 м (август) за счет вегетации *Monoraphidium komarkovae*, которая, согласно

литературным данным, относится к пресноводным видам (данный факт требует уточнения).

Впервые среди доминантов фитопланктона отмечен гетеротрофный вид динофитовых *Oblea rotunda*, пространственное распределение которого ограничивалось слоем 0-1 м, где его численность составила 7-47 тыс. кл./л, против ≤ 1 тыс. кл./л на глубине 3-5 м. Гетеротрофные динофлагелляты часто связаны с цветением автотрофных видов, главным образом диатомовых и динофлагеллят. В июле объектом питания *O. rotunda* могла быть диатомовая *Ch. muelleri*, цветение которой отмечено на том же горизонте, в августе – динофитовая *Heterocapsa rotundata*, вспышка которой (до 0.29 млн. кл./л) наблюдалась на глубине 1-3 м.

В 2018 г. в зоне под галоклином в практически анаэробных условиях (изобата 7-8 м), как и в 2008 г., обилие фитопланктона в основном определялось вегетацией гетеротрофной динофитовой *Oxyrrhis marina*. Вместе с *O. marina* в оба года развивались также эвгленовые, но в незначительных количествах. Практически во всей водной толще основу численности обеспечивала группа мелкоклеточных форм из группы Flagellata, которая могла служить пищей для *Oxyrrhis marina*, т.к. она превалировала в фитопланктоне в слое вегетации указанного гетеротрофа.

В целом количественное развитие июльского фитопланктона в 2018 г. было схоже с таковым в аналогичные сроки в 2008 г., хотя термохалинный режим верхнего солоноватоводного слоя в эти годы различался, но на уровень вегетации основного доминанта *Ch. muelleri* произошедшее в 2018 г. увеличение солености и температуры не повлияло. В июле при доминировании диатомовых наибольшая биомасса фитопланктона (> 2 г/м³) отмечалась на тех же горизонтах (0- 3 м), что и наибольшая численность (>10 млн. кл./л). На глубоководных горизонтах происходило снижение величины биомассы в среднем в 24 раза, до 0.2 г/м³. В августе, наоборот, наибольшая продуктивность фитопланктона (биомасса до 6 г/м³) была ассоциирована с горизонтом 7.5-8 м, где при дефиците кислорода и сниженной инсоляции развивалась гетеротрофная динофитовая *Oxyrrhis marina*.

5. Оценка пресноводного питания озера Могильного

Оценка пресноводного питания озера Могильного включала: подготовку базы метеорологических и гидрологических данных; подготовку картографической информации; создание ГИС – проекта в программе ArcGIS.

5.1. Подготовка базы метеорологических и гидрологических данных; подготовку картографической информации; создание ГИС – проекта в программе ArcGIS

Авторы: А.Н. Василенко, А.А. Сазонов, В.А. Ефимов, Н.Л.Фролова (Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова).

При формировании базы данных в части метеорологической информации в качестве источника данных была выбрана гидрометеорологическая станция «Териберка» (код ВМО 22028). Данная станция расположена в пределах 40-км от о. Кильдин, на выходе из Териберской губы Баренцева моря (эстуарий р. Териберка). Незначительное расстояние и относительная схожесть физико-географических условий позволили считать данную станцию репрезентативной для района оз. Могильного. В дальнейшем правильность выбора была подтверждена исследованиями. Данные наблюдений за температурой воздуха и атмосферными осадками станции с 1886 г. были получены из открытых источников «Росгидромета» (<http://meteo.ru/>). Обработка и хранение проводилось в пакете Microsoft Office

Excel. Отдельным файлом были рассчитаны характеристики климатических ресурсов для данной станции.

Сбор гидрологических и гидрохимических данных проводился в рамках 4 совершенных экспедиций, камеральной и лабораторной обработки данных, а также с использованием записей самописцев температур воды и воздуха.

Сбор данных о температуре, солености, pH/Eh, содержания растворенного кислорода вод оз. Могильного, проводился при непосредственных съемках водоема. Собранные информация объединялась в таблицы Microsoft Excel. Отдельно строились необходимые для анализов графики, отражающие распределение различных характеристик по глубине водоема.

Гидрохимические данные были получены путем отбора проб воды в ходе экспедиций и обработки их в лабораторных условиях на кафедре гидрологии суши Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Результаты анализов были сведены в таблицы Microsoft Excel с построением необходимых рисунков.

Формирование базы осенне-зимне-весенних наблюдений самописцев проводилось после скачивания данных также в таблицах Microsoft Excel, где они были осреднены посуточно и сопоставлены с метеорологической информацией.

Первичные картографические данные были получены с топографических карт из различных источников (<http://loadmap.net/>, <http://www.sasgis.org/>). Основу картографической информации составили результаты аэрофотосъемки, произведенной с беспилотного летательного аппарата в августе 2018 г.

Совместная обработка результатов промерных работ (построения батиметрической схемы) и результатов аэрофотосъемки была произведена средствами ArcGIS (лицензия есть у МГУ) (рис. Рис. Модель рельефа оз. Могильного). Результатом стал гис-проект с трехмерной схемой озера и прилегающей местности, готовый для добавления различных слоев, в зависимости от потребностей участников экспедиции.



Фото Д.А. Воронова

Запуск беспилотного летательного аппарата для аэрофотосъемки оз. Могильного.



Фото Д.А. Воронова

Запуск беспилотного летательного аппарата для аэрофотосъемки оз. Могильного.



Фотография оз. Могильного и его водосборного бассейна беспилотного летательного аппарата.



Пример фотографии с беспилотного летательного аппарата, использованной для построения модели рельефа.



Пример фотографии с беспилотного летательного аппарата, использованной для построения модели рельефа.

5.2. Проведение гидрологической съёмки

Авторы: А.Н. Василенко, Д.А. Воронов, В.А. Ефимов, Е.Д.Краснова, А.А. Сазонов, Н.Л.Фролова (Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова), М.Л. Федюк (Санкт-Петербургский государственный университет).

Проведение гидрологической съёмки включала: батиметрическую съёмку озера, зондирование на репрезентативных станциях (электропроводность/солёность, мутность, содержание кислорода, температура, освещённость); изучение поступления морских вод; обследование водосбора (определение границ и источников питания), определение расходов воды в водотоках, впадающих в озеро; зондирование дистанционными методами: съёмку водосбора и озера квадрокоптером, создание ЦМР на основе снимков. Методики – как в предыдущих работах участников коллектива^{72 73 74 75 76 77}.

⁷² Базилова В.О., Балабин Ф.А., Белоусова В.Н., Беляев Б.М., Василенко А.Н., Гусева С.П., Ефимов В.А., Захарченко Д.И., Калмацкая О.А., Косенков А.В., Кораблина А.Д., Корпушенков И.А., Кошутин Р.А., Кравчук Г.А., Лаптинский К.А., Мардашова М.В., Моисеев А.И., Осипов А.М., Полюхов А.А., Сазонов А.А., Телегина А.А., Телегина Е.А., Терский Петр Н., Титова А.М., Турмачев Н.В., Харламов М.А., Харчева А.В. Комплексное исследование состояния водных объектов и динамики приземного слоя атмосферы на примере западного побережья Белого моря в зимний период // Исследования молодых географов: сборник статей участников секции «Экспедиционные исследования» Международной молодежной научной конференции "Ломоносов-2015"» / Под ред. Н.Л.Фроловой, М.Д.Горячко . — АПР, Москва, 2015. — С. 36–52.

⁷³ Ефимова Л.Е., Фролова Н.Л., Краснова Е.Д., Телегина Е.А., Телегина А.А., Ефимов В.А. Гидрохимические особенности водоемов западного побережья Белого моря: от морских лагун – к меромиктическим озерам // Материалы научной конференции Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Ростов-на-Дону, 8-10 сентября 2015 г. — Т. 1. — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 39–43.

⁷⁴ Ефимова Л. Е., Фролова Н. Л., Краснова Е.Д. и др. Отделяющиеся водоемы Белого моря: особенности формирования гидрологической структуры и химического состава воды // Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны (электронная публикация). — Архангельск, 2016. — С. 524–530.

⁷⁵ Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов. — Т. 12 В: *Труды Беломорской биостанции МГУ*. — Т-во научных изданий КМК Москва, 2016. — С. 211–241.

⁷⁶ Ефимов В.А., Беляев Б.М., Василенко А.Н., Воронов Д.А., Ефимова Л.Е., Краснова Е.Д., Мироненко А.А., Фролова Н.Л. Новые данные гидролого-гидрохимических исследований стратифицированных водоёмов отделяющихся от моря // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. — Т. 3. — ИО РАН Москва, 2017. — С. 189–193.

⁷⁷ Краснова Е.Д., Беляев Б.М., Василенко А.Н., Воронов Д.А., Ефимов В.А., Ефимова Л.Е., Летарова М.А., Мардашова М.В., Мироненко А.А., Фролова Н.Л. Три соленых озера возле о. Соностров: вертикальная стратификация в 2010 и 2017 гг. // Труды VI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU – 2017)». — ПолиПРЕСС Москва, 2017. — С. 682–694.

5.2.1. Батиметрическая съемка

Батиметрическая съемка выполнена с помощью эхолота Garmin Striker Plus 5cv, записывающим показания в память, с резиновой надувной лодки с маленьким подвесным мотором, который не нарушает стратификацию озера, но позволяет выполнить густую сетку станций. Общее число точек, по которым построена батиметрическая карта (Рис. Батиметрическая карта оз. Могильного в 2018 г.) приведенная ниже – 14730.

Наибольшая, зарегистрированная нами глубина озера – 16,1 м. Глубины 17,6 м, (8,25 семифутовых саженей) зарегистрированной Б.А. Риппасом⁷⁸ (1897) возле перемычки, мы не обнаружили, так же как и наши предшественники⁷⁹.

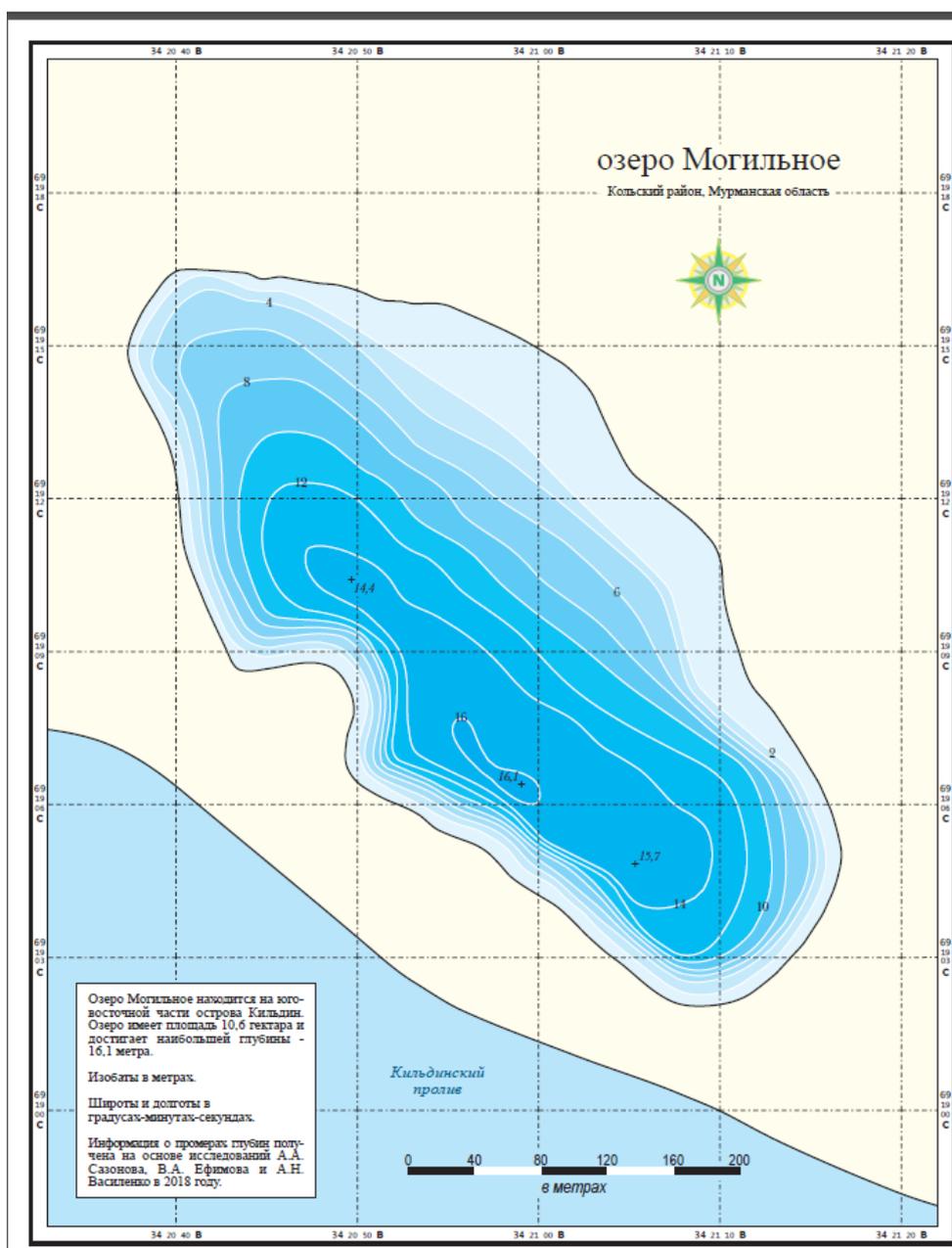


Рис. 28. Батиметрическая карта оз. Могильного в 2018 г.

⁷⁸ Риппас Б.А. Смена вод в реликтовом озере Могильном на о. Кильдине. - Известия Импер. Русск. геогр. об-ва, 1897, т. 33, вып. 1.

⁷⁹ Реликтовое озеро Могильное. Ред. Гуревич В.И., Цеев Р.Я. Л.: Наука, 1975, 298 с.

Участок с наибольшими глубинами лежит между точками с координатами:

Е 69.318346°	Н 34.349865°
Е 69.318680°	Н 34.348805°
Е 69.318488°	Н 34.349895°

Наибольшая, зарегистрированная нами глубина озера – 16,1 м. Мы не можем утверждать это уверенно, поскольку различия на картах могут также быть связаны с разной плотностью сетки измерений, а также с некоторым огрублением данных при построении изображений. В монографии 2002 г. указана максимальная глубина 16,3 м и, судя по контексту, она не включает жидкий ил. Данные, полученные нами с помощью эхолота, не позволяют дифференцировать воду и жидкий ил, и показание эхолота 16,1 м включает обе субстанции. При отборе проб насосом мы уточнили положение границы воды, которая находится при этом на глубине 15,5 – 15,7 м. Таким образом, с некоторой осторожностью можно полагать, что глубина озера постепенно уменьшается.

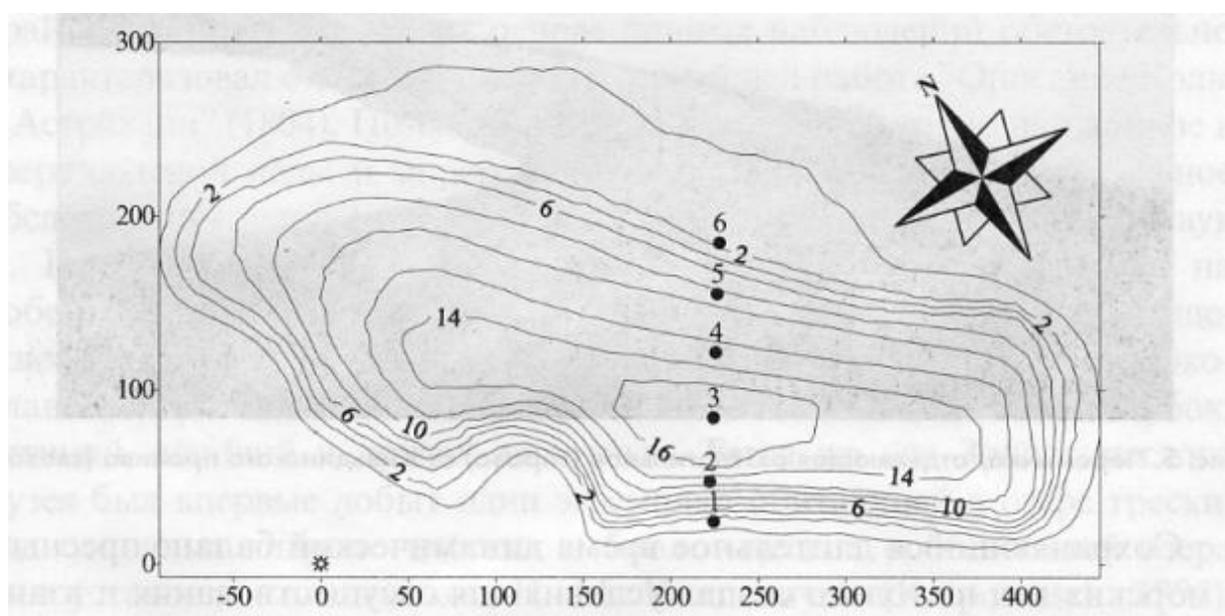


Рис. 29. Батиметрическая схема оз. Могильное в 1999 г. (По: «Реликтовое озеро...», 2002).

5.2.2. Зондирование на репрезентативных станциях (электропроводность/солёность, мутность, содержание O₂, температура, освещенность)

Результаты этих исследований подробно изложены в главе 2.1.1. «Оценка вертикального распределения физико-химических параметров воды».

5.2.3. Изучение режима поступления морских вод

27 июля 2019 г. с помощью водолаза были проведены измерения солёности воды, втекающей в оз. Могильное из фильтрующей дамбы во время прилива. Одновременно на той же глубине на расстоянии 0,5-0,7 м от струи высачивания измерены те же характеристики воды в озере (Табл. 10).

Таблица 10. Соленость воды в струе высачивания (‰) и на той же глубине в озере.

№ изме- рения	Соленость воды (‰):		Разница в солености
	в струе высачивания	в озере на том же гори- зонте	
1	15,6	18,7	3,1
2	17,3	17,15	-0,15
3	17,2	18,6	1,4
4	16,9	20,4	3,5
5	17,6	18,3	0,7
6	19	19,4	0,4
7	15,6	19,1	3,5
8	14,4	20,4	6
9	15,4	20,1	4,7

В струе высачивания соленость воды варьировалась от 15,4 до 19‰, что существенно ниже, чем в море (32,5‰). Следовательно, в озеро втекает не морская вода, а смесь морской и озерной воды, на что было указано и в монографии 1977 года.

Во всех измерениях, кроме одного, соленость в струе была меньше, чем на том же горизонте озера. Втекающей воде по солености соответствует горизонт 3-4 м. Следовательно, по крайней мере, в летнее время движение поступающей воды внутри водоема должно быть направлено вверх, по направлению уменьшения плотности в озере, и в летнее время влияние заброса морской воды распространяется на вышележащую толщу.

Мы также измерили соленость воды, высачивающейся с морской стороны дамбы во время отлива. В нижней части литорали между камнями высачивание образует журчащий ручей с соленостью 17,4‰ и температурой 11,9°, что по солености соответствует горизонту в озере 3,5 м, а по температуре –4,5-5 м. Еще четыре соленых «родника», расположенных ниже на литорали, имели соленость 26,1-28,5‰ и температуру 12-12,5°C. В поверхностном слое моря в это время соленость была 32,5 и температура 14,7°, что заметно отличается от характеристик «родников». Эти измерения, во-первых, подтверждают гипотезу о существовании в теле дамбы водной массы с иными характеристиками, чем в море и в озере, а также указывают на существование в ней градиента солености. Это нужно учитывать при размышлениях о путях миграции планктонных организмов сквозь дамбу, ибо, прежде чем попасть в озеро организмы, захваченные морской водой, окажутся в теле дамбы в условиях другой, меньшей солености, и на неопределенное время, что существенно снижает их шансы на выживание.

5.2.4. Обследование водосбора

Обследование водосбора на предмет выявления источников питания озера проводилось в каждой экспедиции, однако поверхностные источники были встречены нами только в экспедиции в июне 2019 г. Источники представляют собой дрены, расположенные на расстоянии не более 5 м от уреза воды и в абсолютном своем большинстве, превышающие летний урез не более чем на 0,5 м. Весьма вероятно подземная связь данных дрен с водотоками, протекающими на террасах острова и между ними. Скорее всего, поступление избытков вод в грунты происходит из трех болот, расположенных на расстоянии менее 3 км от озера, с превышением не более 50-70 м. Рекогносцировочное обследование проводилось при пеших маршрутах по предполагаемому водосбору озера (согласно монографии 2002 года⁸⁰), а также при пеших обходах уреза озера и приозерной котловины. Отдельные

⁸⁰ Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997-2000 гг.). Мурманск: Изд-во. ПИНРО. 2002, 164 стр.

маршруты проводились по построенной в качестве дороги дамбе, а также по террасам острова.



Фото Д.А. Воронова

Обследование водосборного бассейна оз. Могильного.

Определение расхода воды проводилось 20.06.2019 г. с использованием объемного метода, с использованием ведра объемом 5 л и секундомера.

Устойчивость многослойной структуры прибрежных меромиктических озер обеспечивается балансом между пресным стоком с водосборного бассейна и поступлением воды из моря. Распреснение верхнего слоя в основном приурочено к весеннему сезону за счёт вешних вод и таяния льда (в отличие от Баренцева моря озеро зимой покрывается толстым слоем льда). Летом солёность поверхностного слоя воды постепенно увеличивается, что отмечали и в предыдущих исследованиях⁴³.

Лето 2018 г. выдалось особенно засушливым, ручьи и родники пересохли, поэтому солёность поверхностного слоя возросла по сравнению с другими годами, когда проводились наблюдения. Участникам экспедиции не удалось найти ни одного водотока, который бы питал бы озеро пресной водой; пересох родник с устьем в северо-западной части озера, в котором предыдущие экспедиции брали пресную воду. Более того, мы обнаружили, что некоторые ручьи, вытекающие из другого озера, пресного, расположенного на водоразделе, не формируют русла, а прямиком уходят в грунтовые воды. При такой ситуации озеро явно испытывает дефицит пресной воды.

К июню 2019 г. уровень озера заметно снизился по сравнению с наблюдавшимся во время октябрьской экспедиции. При этом в озеро поступала пресная вода по ручью, описанному предшествующими экспедициями. Обследование показало, что ручей представляет собой дрена с дебетом 2-3 л/с. При этом, по северному берегу обнаружено большое число дрен, к моменту экспедиции не действующих. Сеть водотоков, обнаруженных нами в предполагаемом бассейне озера, разгружается в болото, расположенное выше искусственной дамбы с дорогой, ранее предполагавшейся ограничителем стока в озеро, что, по всей видимости, неверно.



Фото Д.А. Воронова

Ручей-родник снова действует!



Фото А.Н. Василенко

Этот полноводный ручей течет мимо озера.

Отсутствие стока из большей части дрен говорит о том, что уровень грунтовых вод уже ушел ниже поверхности озера, за исключением одного небольшого участка. Отсутствие воды в ручье в предшествующих наших экспедициях говорит о том, что подземный приток с водосбора, по всей видимости, происходит лишь в первые 1-2 месяца после снеготаяния. Возможно также, что существует односторонняя гидравлическая связь грунто-

вых и поверхностных вод, и, при подъеме уровня воды в озере, дрены могут быть заблокированы.

Тем не менее, поступающей в озеро воды в период снеготаяния и в ближайшее после него время, достаточно для некоторого распреснения поверхностного горизонта.

5.2.5. Зондирование дистанционными методами.

Зондирование дистанционными методами включало съёмку водосбора и озера квадрокоптером, создание цифровой модели рельефа на основе снимков.

Использование космических снимков для анализа характеристик как озера, так и его водосбора не представилось возможным, в связи с постоянной облачностью при пролете спутников Landsat 8. (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), имеющих наилучшее разрешение для анализа столь небольшого по площади водоема.

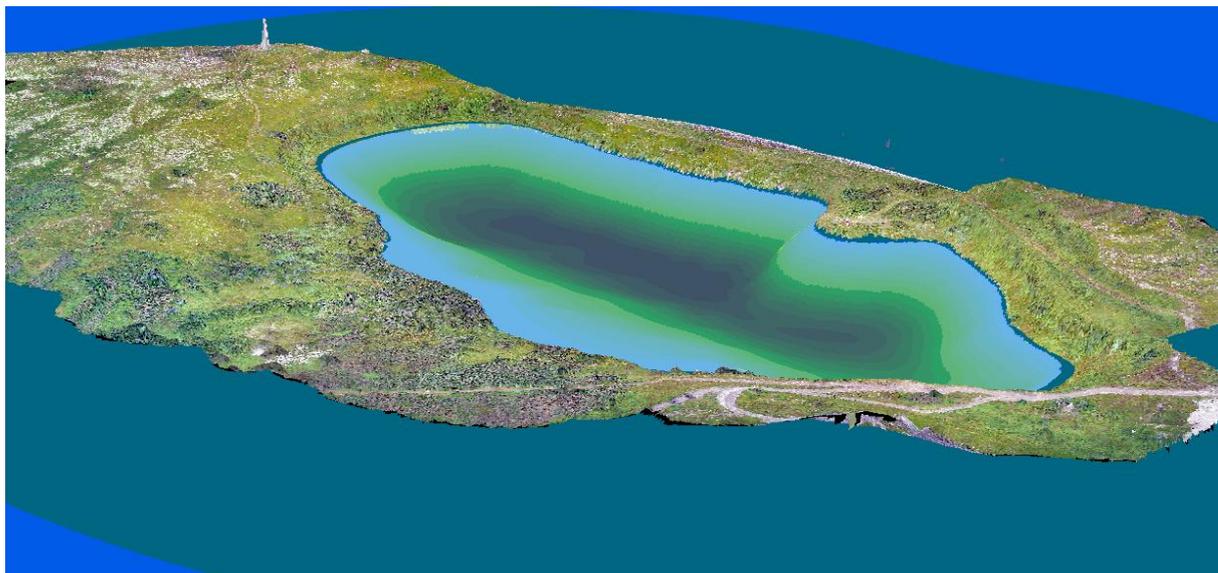
Аэрофотосъемка озера и его водосбора проводилась с использованием БПЛА DJI Phantom 3. Съёмка выполнялась с различных высот из различных точек в ходе экспедиции в августе 2018 г. Также было выполнено ряд пролетов с записью характеристик рельефа.

Обработка снимков и построение ортофотопланов было выполнено в программе Agisoft PhotoScan Professional. Объединение в единую 3D модель с результатами промеров было выполнено в среде ArcGIS.

Выводы по разделу 5.2.

1. В августе 2018 г. выполнена батиметрическая съёмка оз. Могильного. По 14730 точкам измерения глубины построена карта глубин.
2. Наибольшая зарегистрированная глубина – 16,1 м. Граница воды и жидкого ила находилась на глубине 15,5 – 15,7 м. С учетом сведений из монографии 2002 года о том, что в конце XX века максимальная глубина чистой воды была 16,3 м, с некоторой осторожностью можно полагать, что глубина озера постепенно уменьшается.
3. Согласно измерениям солёности воды, струящейся в оз. Могильное из фильтрующей дамбы во время прилива, в озеро втекает не морская вода, а смешанная.
4. Подтверждена гипотеза о существовании в теле дамбы водной массы с иными характеристиками, чем в море и в озере, а также о существовании в ней градиента солёности.
5. Поскольку плотность воды, втекающей в озеро, меньше, чем плотность озерной воды на той же глубине, движение поступающей воды внутри водоема должно быть направлено вверх, и в летнее время влияние заброса морской воды распространяется на вышележащую толщу, не затрагивая хемоклин.
6. Дамба служит серьезным препятствием для планктонных организмов из моря не только за счет фильтрации, но и ввиду меньшей солёности заключенной в ней воды. Прежде чем попасть в озеро организмы, захваченные морской водой, на неопределенное время остаются в полостях дамбы в условиях меньшей солёности, что существенно снижает их шансы на выживание.
7. Осолонение миксолимниона летом и осенью 2018 г. было обусловлено дефицитом пресной воды, которая не поступала с водосбора ввиду засухи.
8. В июне 2019 г. ситуация исправилась лишь отчасти. Дрены на северном берегу, по которым в озеро могла бы поступать пресная вода, бездействовали. Подземный приток с водосбора, по всей видимости, происходит лишь в первые 1-2 месяца после снеготаяния. Выдвинуто предположение об односторонней гидравлической связи грунтовых и поверхностных вод, из-за которой при подъеме уровня воды в озере дрены могут быть заблокированы.

9. Проведена аэрофотосъемка озера и его водосбора с использованием БПЛА DJI Phantom 3. Ортофотопланы объединены с результатами промеров глубин и построена единая 3D модель рельефа озера и его водосбора.



Модель рельефа оз. Могильного, построенная по батиметрической съемке, совмещенной с аэрофотосъемкой.

5.3. Гидрохимические исследования

Работа включала проведение гидрохимической съёмки, в том числе пробоотбор и консервацию проб в полевых условиях; обработку проб в гидрохимической лаборатории УНБ МГУ Красновидово и в лаборатории экоаналитических исследований Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН. В озерной воде с разной глубины определены: рН, Eh, H_2S , концентрация фосфора (валового и минерального, фильтрованный/нефильтрованный), содержание кремния и макроэлементный состав вод. Отобраны пробы для определения макроэлементного состава вод на водосборе.



Фото Д.А. Воронова

Палатка-лаборатория на берегу оз. Могильного.

5.3.1. Результаты определения pH и Eh

Результаты определения pH и Eh рассмотрены выше в главе 2.1.1. «Оценка вертикального распределения физико-химических параметров воды».

5.3.2. Содержание сероводорода

Авторы: Н.М. Кокрятская, Г.Н. Лосюк (ФИЦКИА РАН, Архангельск), Ефимов В.А., Краснова Е.Д. (МГУ им. М.В. Ломоносова).

Методы

В июле, августе, октябре 2018 г. и в июне 2019 г. отобраны пробы для определения концентрации сероводорода на разной глубине озера. В июле-октябре 2018 г. пробы отбирали погружным насосом с размеченным проводом, а в июне 2019 г., кроме того – горизонтальным батометром. Пробы объемом 50 мл сразу после отбора были зафиксированы ацетатом цинка и кадмия (Рис. Пробы...) и почтой отправлены для анализа в Федеральный исследовательский центр комплексных исследований Арктики РАН (г. Архангельск). Аналитические исследования выполнены заведующей лабораторией экоаналитических исследований ИЭПС ФИЦКИА РАН, ведущим научным сотрудником Кокрятской Натальей Михайловной и младшим научным сотрудником этой лаборатории Галиной Николаевной Лосюк. В июне 2019 г. представители этого института сами участвовали в экспедиционных работах на о. Кильдин. Сероводород определяли с использованием N,N-диметил-п-фенилендиамина (РД 52.24.450-2010) фотометром Эксперт-003 (Россия).



Фото Д.А. Воронова

Послойный анализ донных осадков



Пробы для определения концентрации сероводорода, зафиксированные ацетатом цинка и ацетатом кадмия

Результаты

Результаты анализа представлены в таблице 8.

В толще водоема можно выделить три зоны: 1) верхнюю от поверхности до глубины 7 м со следовой концентрацией сероводорода (меньше 1 мг/л); 2) среднюю с концентрацией от 1 до 50 мг/л и 3) нижнюю, 50 мг/л. В течение периода исследований 2018-2019 гг. наиболее стабильной была граница между второй и третьей зонами. Положение между первой и второй зависит от сезона – осенью эта граница ниже, чем летом. Концентрации ниже 11 метров и до дна менялись незначительно. Различия в значениях концентраций между 2018 и 2019 г., возможно, связаны с тем, что в июне 2019 г. аналитические определения были выполнены на месте отбора проб, что позволило избежать потери анализируемого вещества. Однако не исключено, что они отражают сезонную динамику. В зимнее время в известных нам аналогичных водоемах граница сероводорода обычно поднимается; согласно монографии 1999 г. это справедливо и для оз. Могильного – весной 1999 г. подо льдом концентрации сероводорода больше 1 мг/л начинались с глубины 7-8 м, хотя летом того же года – только с 9 м, и количество его тогда было ниже. В июне 2019 г. граница распространения сероводорода могла не успеть опуститься после зимнего подъема.

Таблица 11. Результаты анализа проб на содержание сероводорода в оз. Могильном в 2018-2019 гг., мг/л. Голубым цветом выделены ячейки, соответствующие пробам с содержанием сероводорода менее 1 мг/л, желтым – от 1 до 50 мг/л, серым – более 50 мг/л.

Горизонт, м	22.07.2018	27.07.2018	22.08.2018	22.10.2018	16.06.2019
0,5					0,00
1,0	0,01	0,01	0,01		
2,0				0,01	0,00
3,0			0,00		
5,0			0,00		0,00
6,0				0,02	
7,0	0,01	0,01			0,06
7,25					0,03
7,5			0,05		2,18
7,7	0,18	0,21			
7,75					7,32
7,9	1,03				
8,0		12,87	0,69	0,10	12,33
8,25					15,56
8,3			3,09		
8,5		6,24	14,41	1,64	18,35
8,75					22,34
9,0	15,25	20,10	20,59	13,32	46,34
10,0		64,11	52,17	26,97	122,76
11,0	85,94	103,62		73,91	166,11
12,0			125,61		227,10
13,0	114,71		111,88		207,75
14,0	141,04		121,49		209,70
14,5			137,97		
15,0		135,50		139,16	200,40
15,5		138,27		127,17	

Мы также свели в общую таблицу (таблица 11) результаты определений сероводорода, полученные предыдущими исследователями⁸¹ и наши данные.

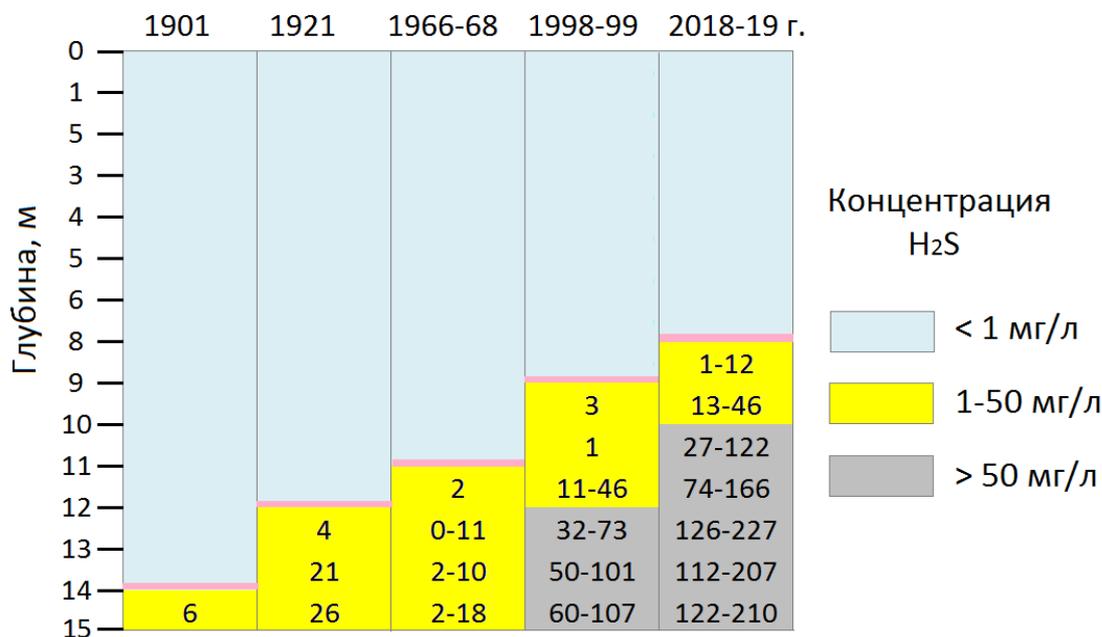


Рис. 30. Вековая динамика распространения сероводорода в оз. Могильном по данным из монографий 1925, 1975 и 2002 гг. и результатам наших определений.

В 1901 году граница сероводорода находилась между 13 и 14 м и под ней концентрация была невысокой; в 1921 году граница поднялась к 11/12 м, концентрация сероводорода в придонном слое существенно увеличилась; в 1966-68 гг. опубликованные значения концентрации были незначительно ниже, а граница поднялась еще на 1 м; в 1998-99 гг. впервые были зарегистрированы значения более 50 мг/л, вода с такими характеристиками заполняла половину глубины сероводородного слоя. И, наконец, в 2018-19 гг. сероводород распространился до глубины 8 м, а зона с высоким его содержанием расширилась вплоть до глубины 10 м.

Таким образом, за период с 1901 г. наблюдается прогрессирующее сероводородное заражение озера Могильного, которое выражается в увеличении его концентрации в придонной зоне и подъеме границы его распространения.

Выводы по разделу 5.3.2.

1. В толще водоема можно выделить три зоны: 1) от поверхности до глубины 7 м с концентрацией сероводорода меньше 1 мг/л; 2) среднюю с концентрацией от 1 до 50 мг/л и 3) нижнюю, 50 мг/л.
2. Зарегистрирована сезонная динамика границы распространения сероводорода. Выше всего он поднимается, по-видимому, зимой и в течение лета и осени постепенно опускается.
3. За период с 1901 г. наблюдается прогрессирующее сероводородное заражение озера Могильного, которое выражается в увеличении его концентрации в придонной зоне и подъеме границы его распространения.

⁸¹ Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997-2000 гг.). Мурманск: Изд-во. ПИНРО. 2002, 164 стр.

4. Абсолютный рекорд по содержанию сероводорода в этом водоеме зарегистрирован в июне 2019 г. на глубине 12 м – 227 мг/л.

5.3.3. Определение биогенных элементов

Авторы: Ефимов В.А., Ефимова Л.Е. Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова (Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова)

Методы

Пробы воды для определения содержания биогенных элементов – форм фосфора и кремния, которые можно считать показателями интенсивности протекания биологических процессов в водной толще, и которые имеют тенденцию к накоплению в заражённых сероводородом слоях озера, отбирали с помощью погружного насоса, и транспортировали в Москву. Анализы выполнены в гидрохимической лаборатории кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им.М.В. Ломоносова. Определение содержания биогенных элементов (минерального, валового фосфора и кремния) проводилось согласно методикам, изложенным в Руководстве по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана⁸². Также отбирались пробы воды для определения концентраций главных ионов и на микроэлементный анализ.

Результаты

Фосфор

Гидрохимические характеристики вод и распределение биогенных элементов в озере аналогичны таковым в исследованных нами меромиктических озёрах на побережье Белого моря. На базовой вертикали в наиболее глубокой части озера (16 м) поверхностные слои до 5-6 м содержат 2-9 мкг минерального фосфора с суммарным содержанием всех форм фосфора до 20 мкг. В весенний период концентрация фосфора выше из-за поступления содержащих фосфор соединений с водосбора, но при этом возрастает доля его органических форм из-за активного потребления минерального фосфора развивающимися после зимы микроорганизмами.

С глубиной концентрация минерального фосфора увеличивается, достигая 500-700 мкг на верхней границе хемоклина (7,5-8,5 м). По всему хемоклину и монимолимниону минеральная форма фосфора преобладает над органической, что свидетельствует об активной деструкции.

Ниже 9 м фосфор накапливается в наибольших количествах. Практически весь фосфор здесь представлен минеральной формой (91-100%), а концентрация составляет 900-1300 мкг/л (рис. 31. Содержание фосфора на разной глубине оз. Могильного).

⁸² Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003 202 с.

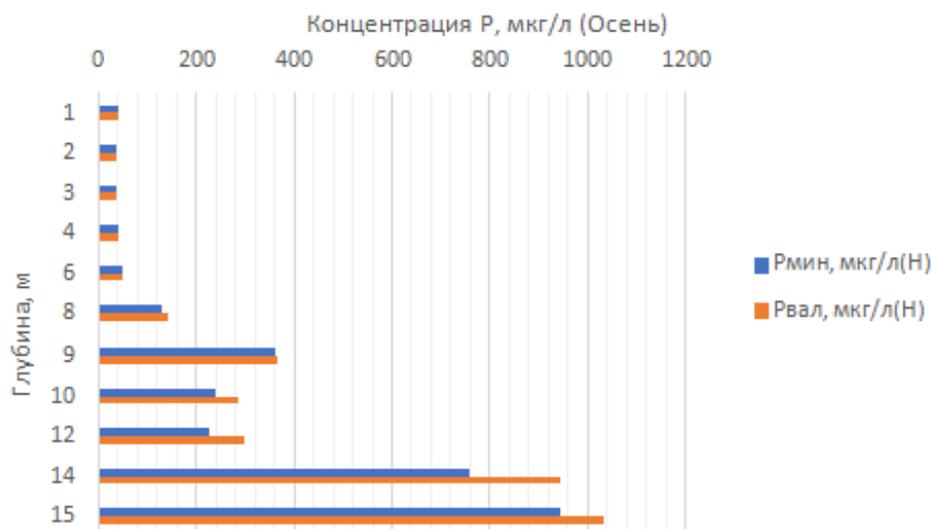


Рис. 31. Содержание фосфора на разной глубине оз. Могильного.

Для определения доли растворённых форм фосфора, пробы воды были профильтрованы через мембранные фильтры Millipore с диаметром пор 0,45 мкм. Это позволило удалить из анализа все соединения, не относящиеся к растворённой и коллоидной формам. Анализ показал, что 65-90% форм фосфора представлены именно в растворе. Их немного меньше в придонных горизонтах (60-70%), где накапливаются продукты деструкции органического вещества и, в результате, обнаруживается большое количество органической взвеси.

Концентрации фосфора в оз. Могильное ниже, чем в исследованных нами озёрах побережья Белого моря, находящихся на поздней стадии отделения от моря, например, в оз. Трёхцветном⁸³, где в придонных слоях концентрации фосфора составляют 1,4-7 мг/л.

Кремний

Содержание кремния в миксолимнионе составляет 0,8-1,4 мг/л; в монимолимнионе до 20 мг/л. Вероятно, увеличение содержания кремния в весенний период связано с более активным функционированием родников, питающих поверхностные слои грунтовыми водами.

Выводы по разделу 5.3.3.

1. В наиболее глубокой части озера в летний период поверхностная водная масса до глубины 5-6 м содержит 2-9 мкг минерального фосфора с суммарным содержанием всех форм фосфора до 20 мкг.
2. С глубиной концентрация минерального фосфора возрастает, на верхней границе хемоклина (7,5-8,5 м) она достигает 500-700 мкг.
3. Наибольшая концентрация фосфора (900-1300 мкг/л) отмечена ниже глубины 9 м.
4. В хемоклине и монимолимнионе минеральная форма фосфора преобладает над органической, что свидетельствует об активной деструкции.

⁸³ Краснова Е. Д., Демиденко Н. А., Пантюлин А. Н. и др. Термический и ледовый режим реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря. / Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. VIII Международная научно-практическая конференция (Москва, РУДН, 24-27 ноября 2014 г.). Т. 1. Москва, 2014, с. 430-443.

5. Содержание кремния в миксолимнионе составляет 0,8-1,4 мг/л; в монимолимнионе до 20 мг/л.



Фото Д.А. Воронова

В августе по соседству с лагерем держалась стая белошеких казарок.

6. Изучение вертикальной стратификации вод и зональности биоты Третьего ковша (кутового бассейна) губы Ивановской

Введение

Губа Ивановская расположена в северо-восточной части Кольского полуострова, координаты 38-39' в.д. и 68' с.ш. Губа представляет собой водоем фиордового типа, вытянута с юго-востока на северо-запад на 22 км. Губа имеет необычную четкообразную форму: несколько относительно широких и глубоких бассейнов – ковшей соединяются друг с другом узкими и мелководными проливами – порогами.

Различают устье и три ковша губы Ивановской. Устье имеет максимальную глубину 55 м, Первый ковш – 20 м, Второй – 55 м, Третий – 20 м. Первые пороги разделяют устье и Первый ковш. Вторые пороги разделяет Первый и Второй ковши. Третьи пороги разделяют Второй и Третий ковши, между двумя порогами заключен маленький мелководный (глубина 10 м) бассейн - Березовая гавань. Глубина первых порогов – 2 м, остальные лежат на уровне моря. Небольшие реки Ивановская и Черная впадают во второй и третий ковши, соответственно. В низовьях р. Ивановской расположено пресное озеро (Рис. 32 «Карта-схема губы Ивановской.»).

Узкие, мелководные пороги ограничивают водообмен ковшей друг с другом и с морем. В результате изоляции, от устья губы к Третьему ковшу снижается суточная амплитуда приливно-отливных колебаний, возникает постоянная (Второй, Третий ковши) стратификация вод по температуре и солености, а в случае Третьего ковша – заражение донного осадка и глубинных вод котловины ковша сероводородом^{84 85 86}. Согласно В.Н. Семенову

⁸⁴ Семенов В.Н. Систематика и экология морских бассейнов Севера на разных этапах изоляции. Апатиты, 1988. 45 стр.

⁸⁵ Семенов В.Н., 1988 б. Классификация морских бассейнов boreально-арктической зоны: экологический подход. Апатиты, 26 стр.

нову, по стратификации вод (поверхностный опресненный слой, промежуточный соленый аэрированный слой, отравленный сероводородом придонный слой), Третий ковш является единственным на Мурмане аналогом оз. Могильного. На фоне сходства между двумя изолятами – оз. Могильным и Третьим ковшом Ивановской, между ними есть и отличия. Во-первых, Третий ковш по площади на порядок больше, чем озеро – 2,5 км² против 0,1 км². Во-вторых, в то время как Могильное напрямую сообщается с открытым морем, то Третий ковш – с Березовой гаванью и Вторым ковшом, которые сами по себе являются изолятами. Наконец, важнейшим отличием является механизм водообмена с соседними акваториями: просачивание воды через рыхлые породы берега в случае Могильного и переливание воды через пороги в случае Третьего ковша Ивановской. Опубликованных гидробиологических данных по Третьему ковшу нет, равно как и формальных данных по вертикальной стратификации его вод. Задачами экспедиции РГО в Ивановскую (4.08-13.08.2018) были оценка вертикального распределения физико-химических параметров воды, мезо зоопланктона и макробентосных сообществ в Третьем ковше.

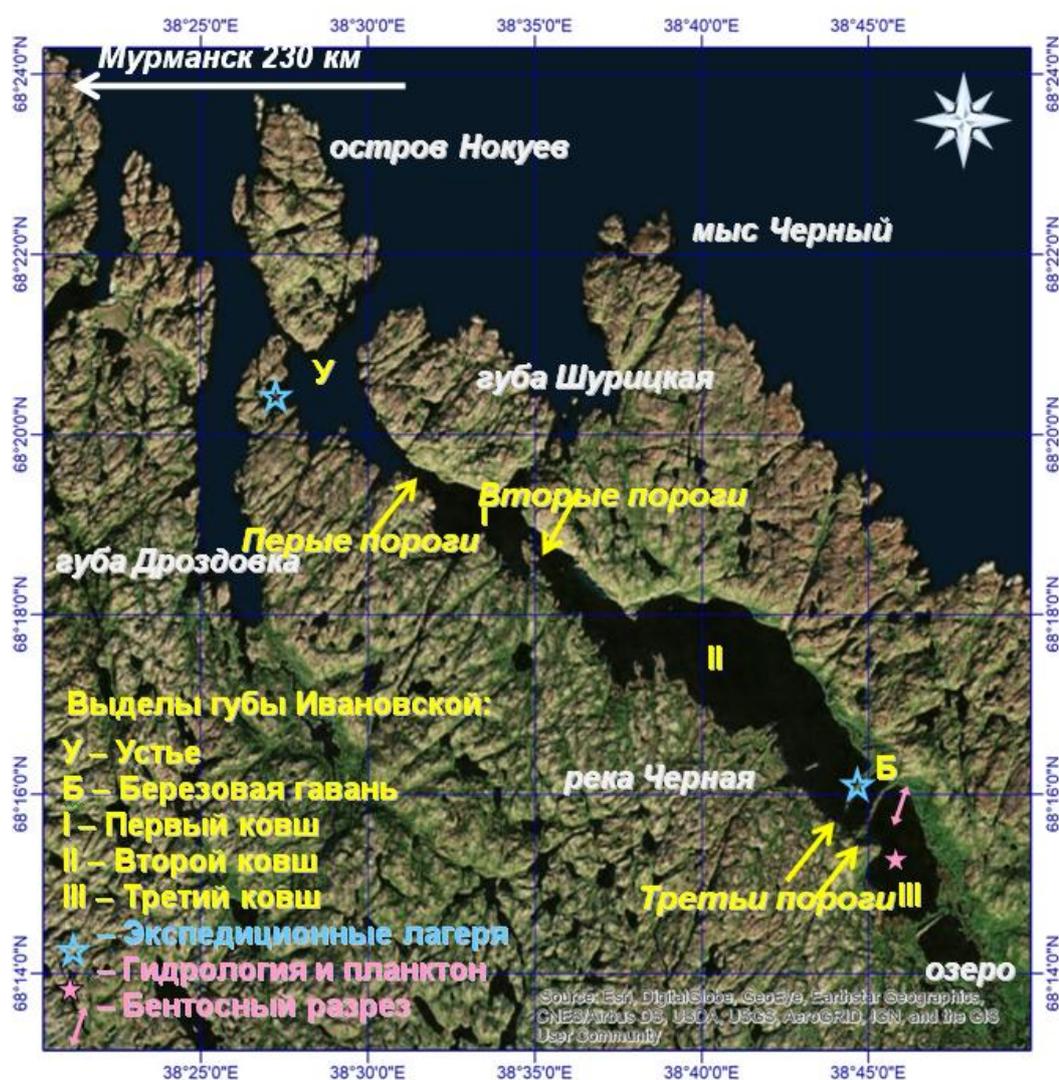


Рис. 32. Карта-схема губы Ивановской. Показаны выделы губы. Обозначены места работы экспедиции РГО.

⁸⁶ Бобков А. А., Стрелков П. П., Ильина А. Н. (2010). Приливная изменчивость океанологических условий сублиторали губы Ивановской. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7: Геология, география, вып. 1. С. 86-99.

Губа Ивановская охраняется законом как региональный памятник природы, призванный охранять прибрежные экосистемы, редкие виды растений и животных, гнездовья птиц и залежки ластоногих (<http://oopt.aari.ru/oopt/Губа-Ивановская>). К сожалению, акватория губы в охранную зону не входит, несмотря на присутствие там видов и сообществ, уникальных для Мурмана (Рис. «Виды губы Ивановской»).



Виды губы Ивановской.

Сверху вниз и слева направо: Устье. На заднем плане о. Нокуев. Вход в губу справа. Фото Л. Басовой, 10.08.2018; Вершина губы. Справа – Второй ковш, по центру – Березовая гавань, слева – Третий ковш (слева вдалеке видно озеро). Фото Л. Басовой, 7.08.2018; Научный интерес представляет не только Третий, но и Второй ковш Ивановской. Это единственное место на Мурмане, где встречается морская трава *Zostera* (фото М. Федюка, 8.08.2018) и где размножаются обыкновенные тюлени *Phoca vitulina* (фото Л. Басовой, 8.08.2018), и редкое место, где по берегам растет «танцующий лес» – березовое криволестье (фото П. Стрелкова, 6.08.2018).

6.1. Оценка вертикального распределения физико-химических параметров воды (температура, соленость, содержание кислорода) и мезо зоопланктона на точке в самой глубокой части Третьего ковша

Авторы: Стогов И.А., Джелали П.А., Стрелков П.П.

Методы

Шестого августа 2018, на точке с координатами 68 15.429 N, 38 45.569 E были получены, с точностью до 1 м, вертикальные профили TSDO и отобраны, в трех повторностях, пробы зоопланктона на горизонтах 0-5 и 5-11 м. Использовались те же методы, что и при работе в оз. Могильном, за исключением того, что пробы воды для определения солености

были получены с помощью батометра. Наличие собственных неопубликованных данных по гидрологии и планктону губы в августе 2007 г (профиль TSDO на той же точке в Третьем ковше, сборы планктона с горизонта 0-10 м во Втором ковше, Березовой гавани и устье губы), позволило оценить временную изменчивость в Третьем ковше, а также сравнить структуру планктонных сообществ в разных частях губы. Для сравнения с оз. Могильным, использовались гидрологические данные от 29.07.2004 и 25.07.2018 и данные по состоянию планктона от 21.08.2018.

Результаты

Стратификация

Вертикальные профили TSDO в Третьем ковше 6.08.2018 приведены на рис.33 «Вертикальные профили TSDO в двух морских меромиктических водоемах». Там же, для сравнения, приведены профили от 11.08.2007 в той же точке, и профили от 29.07.2004 и 25.07.2018 в оз. Могильном. В 2018 году, в Третьем ковше верхний трехметровый слой воды был прогрет до 17-18°C, ниже лежал резкий термоклин до 6°C на 6 м, глубже температура плавно понижалась до 2° С на самой глубокой станции 15 м. Соленость на поверхности была 13 ppt, плавно повышалась с глубиной до 24 ppt на 6 м и далее не менялась. Концентрация кислорода на поверхности была 9-10 мг/л, максимум кислорода наблюдался на 3-5 м (11 - 14 мг/л), глубже содержание кислорода плавно снижалось до 3-4 мг/л на 10-11 м. Начиная с 12 м, кислорода не было. Вода имела запах сероводорода начиная с 11 м. Слой «розовой воды» присутствовал (11-12 м), визуально был выражен более слабо, чем в оз. Могильном. В 2007 г, зона поверхностного опреснения распространялась на 3 м только, а зона прогрева – на те же шесть метров. Придонный бескислородный слой распространялся до глубины 11 м, розовая вода отмечалась на той же глубине, что и 2018 г. На фоне такой стабильности в глубине сероводородного заражения в Третьем ковше разительным выглядит его динамика в оз. Могильном: 10 м в 2004 против 8 м в 2008 (рис. 33) «Вертикальные профили TSDO в двух морских меромиктических водоемах»). Согласно опубликованным данным, в 2007 г глубина «розового слоя» в оз. Могильном была такая же, что в 2004 (9 -10 м⁸⁷).

⁸⁷ Strelkov P., Shunatova N., Fokin M., Usov N., Fedjuk M., Malavenda S., Korsun S. (2014). Marine Lake Mogilnoe (Kildin Island, the Barents Sea): one hundred years of solitude // Polar Biology, 37(3), 297-310.

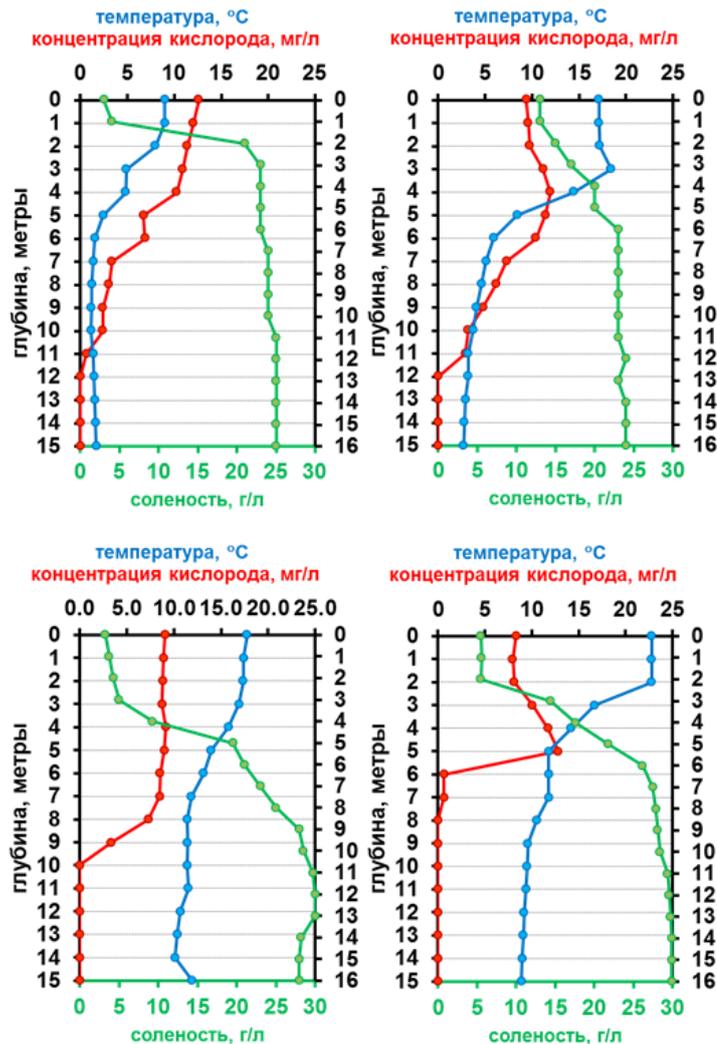


Рис. 33. Вертикальные профили TSDO в двух морских меромиктических водоемах, Третьем ковше губы Ивановской (вверху, слева 11.08.2007, справа 06.08.2018) и оз. Могильном (внизу, слева 29.07.2004, справа 25.07.2018) в разные декады.

Видно, что на фоне связанной с погодой изменчивости температуры и солености в поверхностных водах Третьего ковша, глубина «сероводородного» – бескислородного слоя за 10 лет не поменялась, в то время как в озере за тот же период «сероводородный» слой существенно расширился.

Таким образом, за 10 лет, на фоне изменчивости температуры и солености в поверхностных водах Третьего ковша Ивановской (изменчивость, вероятно, связана с погодой), глубина «сероводородного» – бескислородного слоя там не поменялась, в то время как в оз. Могильном за тот же период «сероводородный» слой существенно расширился.

Зоопланктон

В августе 2018 г, мезозоопланктон Третьего ковша был представлен 9 формами – гидроидной медузой *Sarsia tubulosa*, коловраткой *Synchaeta* sp., копеподами *Pseudocalanus* sp., *Acartia* sp. и *Oithona* sp., кладоцерой *Evadne nordmanni*, морской стрелкой *Sagitta elegans*, личинками полихет и двустворчатых моллюсков. И качественно (табл. 10), и количественно (рис. «Обилие мезозоопланктона губы Ивановской и оз. Могильного в августе, по данным разных лет») планктон поверхностного слоя воды (0-5 м) был богаче, чем глубинного (5-11 м). Сборы 2007 г из Третьего ковша представлены 11 таксонами:

Synchaeta sp., *Pseudocalanus* sp., *Acartia* sp., *Centropages* sp., *Oithona* sp., *Oncaea borealis*, *Harpacticoida* gen. sp., *Evadne nordmanni*, *Polyphemus* sp., *Sagitta elegans* и личинками Polychaeta. «Ядром» летнего сообщества зоопланктона Третьего ковша можно считать формы, встреченные там и в 2007, и 2018: личинок полихет, *Synchaeta* sp., *Pseudocalanus* sp., *Acartia* sp., *Oithona* sp. и *Evadne nordmanni*.

Таблица 12. Списки форм зоопланктона разных выделов губы Ивановской и оз. Могильного в августе, по данным разных лет.

Станции: 1-3. Третий ковш Ивановской, 68 15.429 N, 38 45.569 E: 1 – горизонт 0-5 м, 06.08.2018, 2 – горизонт 5-11 м, 06.08.2018, 3 – горизонт 0-11 м, 11.08.2007. 4-6. «Мористые районы» Ивановской, горизонт 0-11 м, август 2007: 4 – Березовая гавань, 5 – Второй ковш, 6 – устье. 7-8. оз. Могильное, 21.08.2018. 7 – горизонт 0-3 м, 8 – горизонт 3-8 м.

Группа	Вид	1	2	3	4	5	6	7	8
Infusoria	Tintinnoidea	-	-	-	-	-	+	-	-
Coelenterata	<i>Rathkea octopunctata</i>	-	-	-	+	+	-	-	-
	<i>Obelia</i> sp.	-	-	-	+	+	+	-	-
	<i>Sarsia tubulosa</i>	-	+	-	-	+	-	-	-
Ctenophora	<i>Ctenophora</i> juv.	-	-	-	-	-	+	-	-
Rotifera	<i>Synchaeta</i> sp.	+	-	+	+	+	+	+	+
	<i>Keratella</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-
Copepoda	<i>Calanus finmarchicus</i>	-	-	-	-	-	+	-	-
	<i>Pseudocalanus</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Acartia</i> sp.	+	-	+	+	+	+	-	-
	<i>Centropages</i> sp.	-	-	+	+	+	+	+	+
	<i>Oithona</i> sp.	+	-	+	+	+	+	-	-
	<i>Temora longicornis</i>	-	-	-	+	+	+	-	-
	<i>Microsetella norvegica</i>	-	-	-	+	+	+	-	-
	<i>Oncaea borealis</i>	-	-	+	-	-	+	-	-
	<i>Tisbe furcata</i>	-	-	-	-	-	-	-	+
	<i>Harpacticoida</i> gen. sp.	-	-	+	+	+	+	-	-
Cladocera	<i>Evadne nordmanni</i>	+	-	+	+	+	-	-	-
	<i>Podon polyphemoides</i>	-	-	-	-	+	-	+	+
	<i>Polyphemus</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	-
Crustacea	Isopoda gen. sp.	-	-	-	-	+	+	-	-
	Cumacea gen. sp.	-	-	-	+	-	-	-	-
	Euphausiacea juv.	-	-	-	-	+	-	-	-
Chaetognata	<i>Sagitta elegans</i>	+	+	+	+	-	-	-	-
Appendicularia	<i>Fritillaria borealis</i>	-	-	-	-	+	+	-	-
Larvae	Nemertinea larvae	-	-	-	-	+	-	-	-
	Polychaeta	+	+	+	+	+	+	+	+
	Cirripedia	-	-	-	-	+	+	-	-
	Bivalvia	+	-	-	+	+	+	-	-
	Gastropoda	-	-	-	+	+	+	+	-
	Echinoidea	-	-	-	-	-	+	-	-
	Ophiuroidea	-	-	-	-	-	+	-	-
Обилие, экз./м ²		47054	19366	5037	16305	7558	5663	1393	154264
Количество форм		9	4	10	16	21	22	6	6

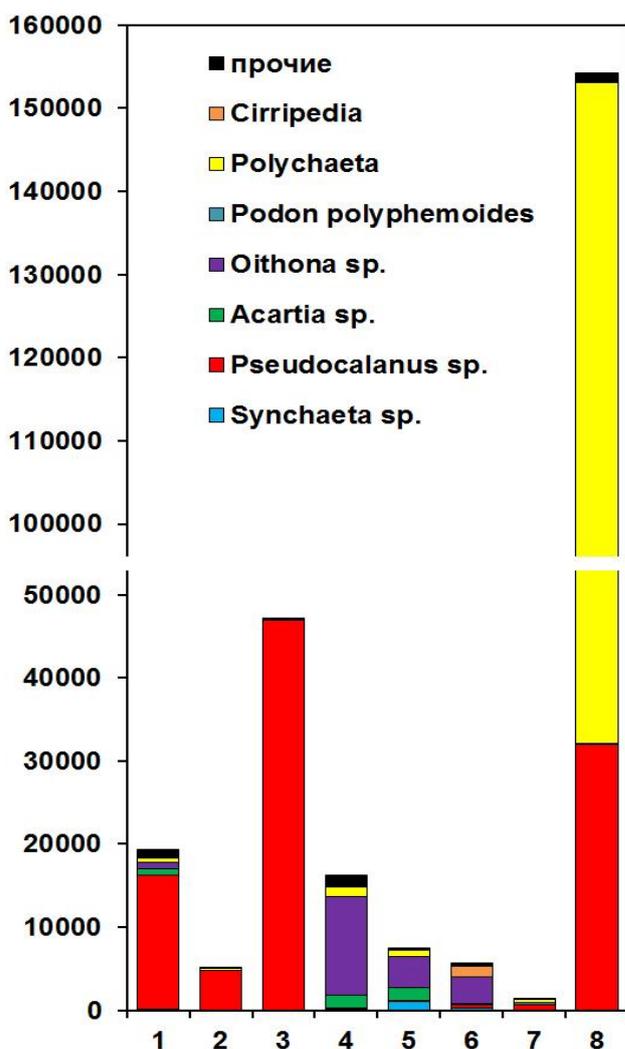


Рис. 34. Обилие мезозoopланктона губы Ивановской и оз. Могильного в августе, по данным разных лет.

Столбцы – средние оценки обилия, экз./м³. Обратите внимание, что ось ординат «разорвана».

Разные таксоны даны разным цветом. К «прочим» отнесены таксоны, чье обилие на каждой станции было менее 5% общей численности.

Станции:

1-3. Третий ковш Ивановской, 68 15.429 N, 38 45.569 E:

1 – горизонт 0-5 м, 06.08.2018,

2 – горизонт 5-11 м, 06.08.2018,

3 – горизонт 0-11 м, 11.08.2008.

4-6. «Мористые районы» г. Ивановской, горизонт 0-11 м, август 2008:

4 – Березовая гавань,

5 – Второй ковш,

6 – устье.

7-8. Оз. Могильное, 21.08.2018 г.:

7 – горизонт 0-3 м,

8 – горизонт 3-8 м.

Всего, по данным исследований 2007 и 2018 гг., мезозoopланктон губы Ивановской представлен 27 видами и группировками более высокого ранга, среди которых только два солоноватоводных вида (*Keratella* sp., *Polyphemus* sp.), остальные – морские (табл. 9). По сравнению с остальной акваторией губы, Третий ковш характеризуется обедненным видовым составом зоопланктона (табл. 9). При анализе горизонтального распределения массовых форм по акватории губы, обращает на себя внимание увеличение таксономического разнообразия по мере продвижения из кутовой части губы к устью, а также смена доминирующих форм. Так, если в Третьем ковше отмечен только один массовый вид – *Pseudocalanus* sp., то уже на следующей станции (Березовая гавань) происходит смена доминирующих форм на *Oithona similis* и личинок *Polychaeta*. Отмечена частичная смена доминант и во Втором ковше (*Oithona similis* и *Synchaeta* sp.), и в устье губы (*Oithona similis*, науплиусы *Cirripedia*, *Pseudocalanus* sp.) (рис. 34 «Обилие мезозoopланктона губы Ивановской и оз. Могильного в августе, по данным разных лет»).

Рисунок «Обилие мезозoopланктона губы Ивановской и оз. Могильного в августе, по данным разных лет» позволяет сопоставить структуру планктонных сообществ не только разных выделов губы Ивановской (Третьего ковша по данным 2017 и 2018 гг., устья, Второго ковша и Березовой гавани, по данным 2007 г.), но и оз. Могильного, по данным 2018 г. В двух меромиктических водоемах мы наблюдаем количественно относительно богатые, но качественно относительно бедные сообщества, в которых абсолютно доминируют копеподы рода *Pseudocalanus* (по данным генотипирования – единственный вид *Pseudocalanus acuspes*) и, сезонно, – личинки полихет (исключительно сем. Spionidae). Этим сходство между Могильным и Третьим ковшем Ивановской ограничивается, потому

что, в терминах числа общих видов (30%), они не более похожи друг на друга, чем на любую другую акваторию, включенную в сравнение (табл. 9). Отдельно, следует остановиться на различиях в вертикальном распределении численности планктонных животных в Третьем ковше и в оз. Могильном. В Третьем ковше зоопланктон «концентрируется» в поверхностном (0-5) горизонте. Это состояние характерно для планктона морских водоемов. В оз. Могильном, напротив, в поверхностных водах численность планктонных животных низка. Это, очевидно, связано с относительно низкой для морских животных соленостью его поверхностных вод (5 ppt в озере против 10 ppt в Третьем ковше в августе 2018).

6.2. Оценка вертикального распределения биологических сообществ на вертикальных транссектах от уреза воды до сероводородного слоя

Авторы: Шунатова Н.Н., Малавенда С.С., Иванов М.В., Федюк М.Л.

Методы

С применением легководолазной техники было проведено картирование основных бентосных сообществ в северо-восточной части Третьего ковша (рис. «Карта-схема губы Ивановской»), на основании которого были выбраны наиболее контрастные участки для взятия количественных проб. Также, была проведена фотосъемка основных биотопов. В ходе бентосной съемки на четырех горизонтах (0.7, 2.3, 5.0, 7.5 м) вручную были отобраны 30 проб с мягких грунтов площадью от 1/182 до 1/40 м². Твердые субстраты были охарактеризованы качественными пробами. Пробы промывали через сито с ячейей 0,5 мм. Для представителей макрозообентоса определяли таксономическую принадлежность с максимально возможной точностью (кроме Nematoda, которых не учитывали), подсчитывали количество экземпляров и определяли воздушно-сырой вес с точностью до 1 мг. Для сравнения с оз. Могильным, использовались опубликованные данные за 2003-2007 гг., полученные сходными методами⁸⁸.

Результаты

За исключением района порога, где дно каменистое, грунт мелководий Третьего ковша преимущественно илисто-песчаный с редкими валунами, на валунах поселяются мидии и водоросли (рис. «Характерные ландшафты и биологические сообщества Третьего ковша губы Ивановской»).

⁸⁸ Strelkov P., Shunatova N., Fokin M., Usov N., Fedjuk M., Malavenda S., Korsun S. (2014). Marine Lake Mogilnoe (Kildin Island, the Barents Sea): one hundred years of solitude // Polar Biology, 37(3), 297-310.

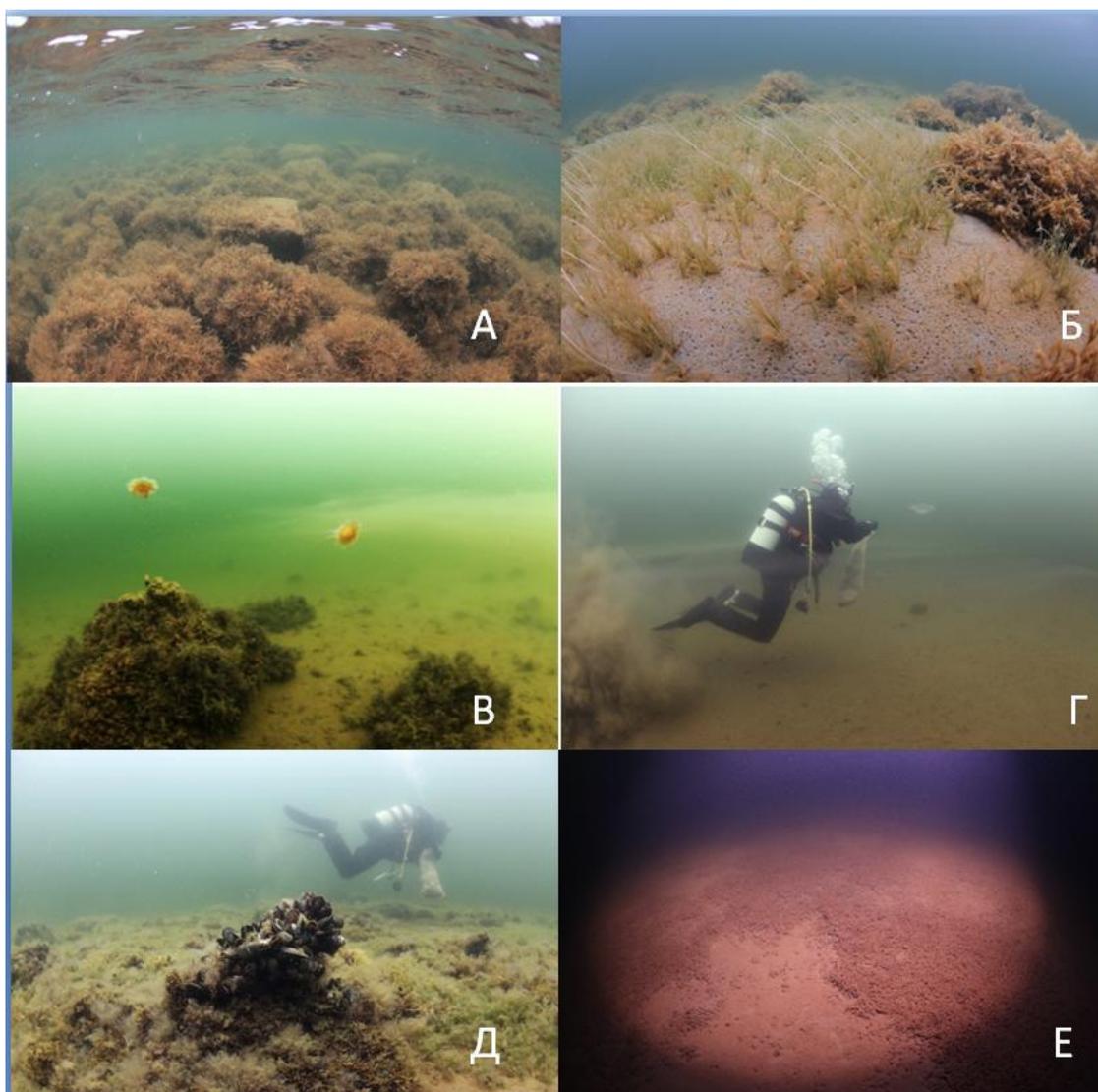


Рис. 35. Характерные ландшафты и биологические сообщества Третьего ковша губы Ивановской:

А – валуны, поросшие фукоидами в районе порога, глубина 1 м; Б – заиленный песок, поросший фукоидами и морской травой *Zostera*, 2 м; В, Г – илисто-песчаные грунта, 4 м. На В видны поросшие фукоидами и багрянками валуны и медузы *Cyanea capillata*; Д – агрегация мидий *Mytilus* и багрянок *Devaleraea ramentacea* на валуне, 6 м; Е – илистое дно, армированное трубками полихет *Polydora ciliata*, 8 м. Фото Михаила Федюка, 07.08.2018.

На основе доминирования ряда видов по численности и биомассе, мы выделяем четыре основных типа макробентосных сообществ в северо-восточной части Третьего ковша губы Ивановской:

1) Сообщество «*Oligochaeta–Chironomidae*» простирается от уреза воды до глубины 1,5 м. Грунт – заиленный гравий с отдельными камнями. Сопутствующими видами являются *Macoma balthica*, *Jaera* spp., *Gammarus* spp. Фитобентос представлен сине-зелеными водорослями *Rivularia hemisphaerica*.

2) Сообщество «*Macoma baltica–Mya arenaria–Gammarus setosus*» приурочено к горизонту 1,5-4 м. Грунт в основном – заиленный крупный песок с примесью гравия и камней. Для данного сообщества характерно наибольшее видовое разнообразие. Сопутствующими видами являются *Mytilus edulis*, *Arenicola marina*, *Spio filicornis*, *Manayunkia aesturina*, *Pygospio elegans*, *Clitellio arenaris*, *Nais elingius*, *Tubifex costatus*, *Paranais*

littoralis, олигохеты из сем. Enchytridae, *Coryne tubulosa*, *Cladotanytarsus* gr. *Mancus*, *Chironomus nigrifrons*, *Gammarus duebeni*, *G. oceanicus*, *G. setosus*, *G. zaddachi*. Среди водорослей доминируют *Fucus vesiculosus*, *Devaleraea ramentacea*, *Cladophora rupestris*; фитобентос распределен очень мозаично в соответствии с характером грунта.

3) Сообщество «*Mytilus edulis*–*Castalia punctata*–*Pontoporeia femorata*» отмечено на глубине 4–6,5 м. Грунт – заиленный гравий с отдельными крупными камнями, к которым приурочена доминирующая среди альгофлоры *Devaleria ramentacium*. Толщина наилка между куртинами девалерии составляет примерно 30 см. Сопутствующие виды: *Littorina obtusata*, *L. saxatilis*, *Pectinaria hyperborea*, олигохеты из сем. Tubificidae, *Jaera* sp., *Gammarus* sp.

4) Сообщество «*Polydora ciliata*» приурочено к глубине 6.5 – 8м. Грунт – заиленный гравий, толщина наилка не менее 50 см. Сопутствующие виды животных: *Capitella capitata*, *Lineus* sp., *Jaera* sp. Фитобентос отсутствует.

Рисунок 36 «Обилие зообентоса на разных глубинах оз. Могильного в 2007 г» позволяет визуальнo сравнить, в терминах биомассы, структуру сообществ мягких грунтов Третьего ковша Ивановской и оз. Могильного на разных глубинах. Есть некоторое сходство между двумя водоемами в структуре самых мелководных сообществ, где доминируют олигохеты и хирономиды, и самых глубоководных, где доминирует полихета *Polydora*. Во всех отношениях «центральные» сообщества промежуточных глубин в Могильном и Третьем ковше мало похожи друг на друга. Также обращает внимание, что биомасса бентоса мягких грунтов в Третьем ковше Ивановской существенно выше, чем в Могильном.

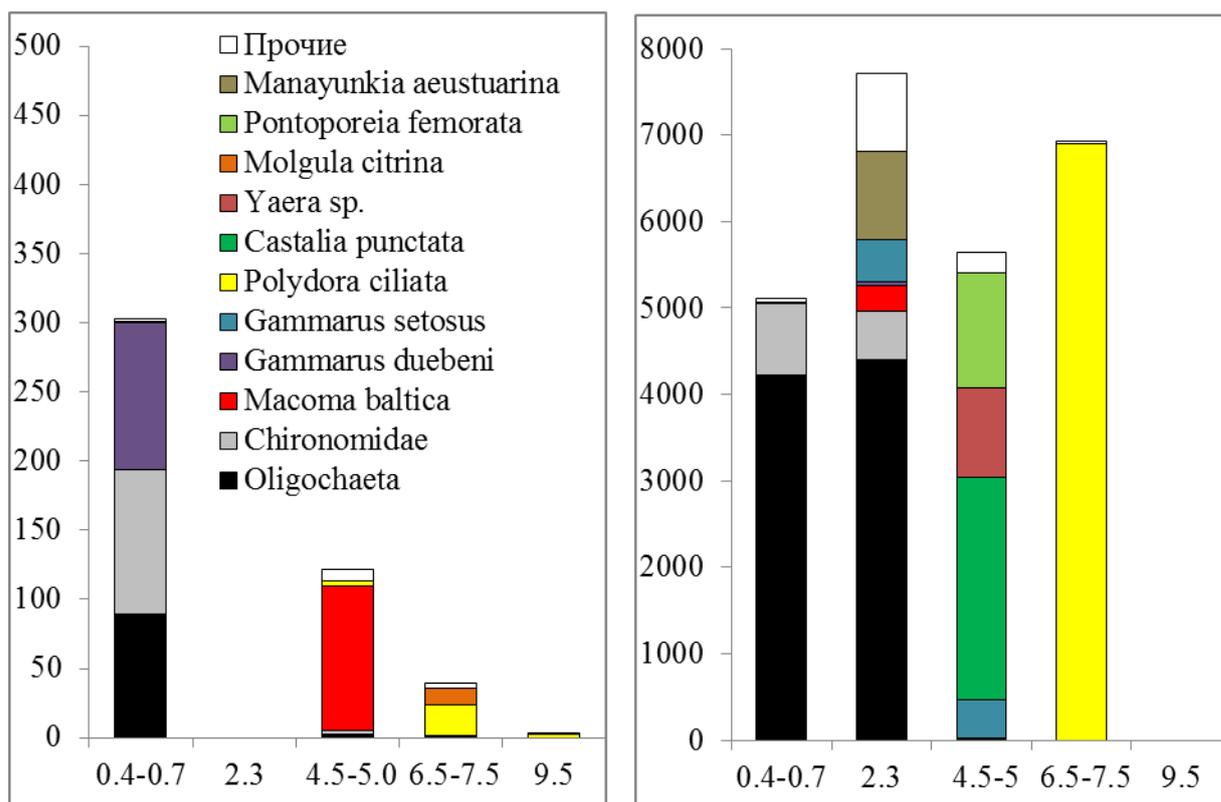


Рис. 36. Обилие зообентоса на разных глубинах оз. Могильного в 2007 г. (слева) и Третьего ковша губы Ивановской в 2018 г.

Столбцы – средние оценки биомассы, г/м². Разные таксоны даны разным цветом. К «прочим» отнесены таксоны, чье обилие на каждой станции было менее 5% общей численности. Обратите внимание, что рисунок дает представления о структуре, в терминах биомассы, фауны мягких грунтов только.

Списки форм зообентоса Третьего ковша губы Ивановской, по данным 2018 г., и оз. Могильного, по данным 2003-2007 гг., приведены в таблице 13. На единственном разрезе в Ивановской отмечено больше видов (38), чем на шести разрезах в Могильном (33), из них только 12 общих для двух водоемов. Как и в случае с планктоном, бентосные сообщества двух меромиктических водоемов, в основном, образованы разными видами.

Таблица 13. Списки форм зообентоса Третьего ковша губы Ивановской, по данным 2018 г., и оз. Могильного, по данным 2003-2007 гг.

	Таксон	Ивановская	Могильное		Таксон	Ивановская	Могильное
Porifera	<i>Protosuberites epiphytum</i>	0	1	Crustacea	<i>Jaera</i> sp. (cf. <i>albifrons</i>)	1	0
	<i>Coryne tubulosa</i>	1	1		<i>Jaera marina</i>	0	1
Cnidaria	<i>Metridium dianthus</i>	0	1		<i>Isopoda</i> (c.f. <i>Munna</i> sp.)	0	1
	<i>Halecium mirabili</i>	0	1		<i>Cladotanytarsus</i> gr. <i>Mancus</i>	1	0
	<i>Perigonimus abissi</i>	0	1		<i>Chironomus nigrifrons</i>	1	1
	<i>Cyanea arctica</i>	0	1		<i>Parakiefferiella</i> sp.	0	1
	<i>Eudendrium capillare</i>	0	1		Ostracoda	1	1
	<i>Opercularella</i> sp.	0	1		<i>Gammarus locusta</i>	0	1
	<i>Aricidea nolani</i>	1	0		<i>Gammarus duebeni</i>	1	0
<i>Arenicola marina</i>	1	0	<i>Gammarus</i> sp.		1	0	
<i>Capitella capitata</i>	1	1	<i>Oedicerotidae</i> g.sp.		1	0	
<i>Castalia punctata</i>	1	0	<i>Gammarus zaddachi</i>		1	0	
<i>Fabriciella baltica</i>	0	1	<i>Gammarus setosus</i>	1	0		
<i>Hesionidae</i> gen. sp.	0	1	<i>Electra crustulenta</i> <i>baltica</i>	0	1		
<i>Manayunkia aeustuarina</i>	1	0	Bryozoa	<i>Buskia nitens</i>	0	1	
<i>Maldane sarsi</i>	1	0	Nemertini	<i>Lineus</i> sp.	1	1	
Annelida	<i>Micronephthys minuta</i>	1	0	Plathelminthes	<i>Turbellaria</i> g. sp.	1	1
<i>Pectinaria hyperborea</i>	1	0	Enteropneusta	<i>Balanoglossus</i> sp.	1	0	
<i>Polydora</i> sp. (cf. <i>ciliata</i>)	1	1	Mollusca	<i>Littorina obtusata</i>	1	0	
<i>Pygospio elegans</i>	1	1		<i>Littorina saxatilis</i>	1	0	
<i>Pseudopotamilla reniformes</i>	0	1		<i>Macoma baltica</i>	1	1	
<i>Scalibregma inflatum</i>	1	0		<i>Mya arenaria</i>	1	0	
<i>Scoloplos armiger</i>	1	0		<i>Mytilus edulis</i>	1	0	
<i>Spio</i> sp. (cf. <i>filicornis</i>)	1	0		<i>Nicania montagui</i>	0	1	
<i>Enchytraeidae</i> gen. sp.	1	1		<i>Skeniopsis planorbis</i>	0	1	
<i>Tubificidae</i> gen. sp.	1	0		<i>Molgula</i> sp.	1	0	
<i>Clitellio arenaris</i>	1	0	Ascidia	<i>Styela coriacea</i>	0	1	
<i>Nais elingius</i>	1	1	<i>Molgula nana</i>	0	1		
<i>Tubifex costatus</i>	1	1					
<i>Paranais littoralis</i>	1	0					
<i>Tubificoides benedeni</i>	0	1					

Выводы по главе 6

1. Впервые обобщены гидрологические и гидробиологические данные по Баренцево-морскому морскому изоляту – Третьему ковшу губы Ивановской.
2. По своей стратификации Третий ковш губы Ивановской похож на оз. Могильное, включая поверхностное опреснение и сероводородное заражение придонных вод.
3. В отличие от оз. Могильного, в Третьем ковше г. Ивановской за последние десять лет стратификация вод принципиально не поменялась: глубина сероводородного заражения осталась на 11 метрах. За тот же период, в оз. Могильном сероводород поднялся на два метра. Скорее всего, изменения в озере связаны с действием локальных факторов, а не глобальных, то есть действующих в масштабе всего региона.

4. Бентосные и планктонные сообщества двух водоемов, в основном, образованы разными видами. Гипотеза о сходстве в биоте стратифицированных меромиктических водоемов одинаковой глубины и расположенных близко друг от друга – не подтвердилась.
5. Сходство в составе зоопланктона между оз. Могильным и Третьим ковшом г. Ивановской ограничивается тем, что в обоих водоемах зоопланктон обильный, но качественно бедный.
6. Одним из факторов, определяющих несходство фауны двух меромиктических водоемов, может быть разная степень их биологической изоляции. При сходном уровне гидрологической изоляции, степень биологической изоляции Могильного должна быть выше, чем Третьего ковша Ивановской, из-за «фильтрационного» способа водообмена с морем.

Заключение

Исследования, выполненные в ходе проекта, подтвердили негативную динамику в экосистеме оз. Могильного. По сравнению с 2000-ми годами поверхностный слой стал на 1 м тоньше (его современная глубина 2-2,5 м), а соленость возросла на несколько единиц (варьирует в течение года от 5 до 10 ppt). Сероводород распространился на 1 м выше, и сероводородная зона в настоящий момент занимает половину глубины озера. Изменения в поверхностном слое и в придонной водной массе имеют разную природу. Если истончение и осолонение поверхностного слоя связаны, вероятно, с климатическими изменениями; то подъем сероводорода обусловлен локальными причинами. Выдвинута гипотеза об уменьшении проницаемости дамбы и усилении застойных явлений в озере.

Нижняя граница распространения бентоса сместилась с 9 м в 2007 г. до 7 м в 2018 г. Донное сообщество за последние 10 лет утратило несколько «титульных» для озера видов, в том числе многощетинковых червей *Pseudopotamilla* и двустворчатых моллюсков *Astarte*. Масштаб изменений в пространственном распределении донных сообществ, говорит о кризисе экосистемы. В планктонном сообществе миксолимниона зарегистрированы переменные изменения состава, соответствующие его солености. Наблюдаемые изменения в составе планктонных сообществ обратимы, в отличие от бентоса: повторное вселение морских видов путем заноса личинок затруднено ввиду пониженной солености воды в теле дамбы.

Популяция кильдинской трески, внесенной в Красные книги РФ и Мурманской области, пока не пострадала. Однако продолжение зарегистрированных тенденций может привести к деградации места ее обитания.

В числе параметров, которые подверглись самым большим изменениям, демонстрируют устойчивые многолетние тренды и служат, с одной стороны, индикаторами состояния экосистемы и, с другой, сами отвечают за ее состояние: 1) глубина миксолимниона; 2) глубина хемоклина (маркируемого розовым слоем воды), 3) соленость миксолимниона и верхней части гиполимниона до хемоклина; 4) концентрация сероводорода в разных слоях озера. Именно эти абиотические параметры необходимо в первую очередь отслеживать в ходе дальнейшего мониторинга водоема. Одновременно с абиотическими, нужно регистрировать биологические индикаторы: состав планктонных сообществ (зоо-, фито-, ихтиопланктон), состав и распределение бентоса по глубинам и, конечно, состояние популяции кильдинской трески.

Литература

1. Базилова В.О., Балабин Ф.А., Белоусова В.Н., Беляев Б.М., Василенко А.Н., Гусева С.П., Ефимов В.А., Захарченко Д.И., Калмацкая О.А., Косенков А.В., Кораблина А.Д., Корпушенков И.А., Кошутин Р.А., Кравчук Г.А., Лаптинский К.А., Мардашова М.В., Моисеев А.И., Осипов А.М., Полюхов А.А., Сазонов А.А., Телегина А.А., Телегина Е.А., Терский Петр Н., Титова А.М., Турмачев Н.В., Харламов М.А., Харчева А.В. Комплексное исследование состояния водных объектов и динамики приземного слоя атмосферы на примере западного побережья Белого моря в зимний период // Исследования молодых географов: сборник статей участников секции «Экспедиционные исследования» Международной молодежной научной конференции "Ломоносов-2015"» / Под ред. Н.Л.Фроловой, М.Д.Горячко . — АПР, Москва, 2015. — С. 36–52.
2. Бобков, А. А., Стрелков, П. П., Ильина, А. Н. (2010). Приливная изменчивость океанологических условий сублиторали губы Ивановской. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7: Геология, география, вып. 1. С. 86-99.
3. Брейтфус Л.Л. Экспедиция для Научно-Пром. Исслед. у берегов Мурмана. Цит. по: Дерюгин, 1925).
4. Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Находки видов *Chaetoceros* (Bacillariophyta) в озере Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2013. Т. 47. С. 54–61.
5. Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Центрические и бесшовные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) водной толщи реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2014. Т. 48. – С. 66–80.
6. Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Ахнатоидные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2015. Т. 49. – С. 13–31.
7. Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Цимбеллоидные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2016. Т. 50. – С. 43–55.
8. Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Навикулоидные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2018. Т. 52(1). – С. 13–32.
9. Гогорев Р.М., Ланге Е.К. Амфороидные и каналошовные пеннатные диатомовые (Bacillariophyta) реликтового озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Новости систематики низших растений. 2019. Т. 53 (1). – С. 15–38. DOI: <https://doi.org/10.31111/nsnr/2019.53.1.15>
10. Гогорев Р.М., Орлова Т.Ю., Шевченко О.Г., Стоник И.В. Диатомовые водоросли России и сопредельных стран: Ископаемые и современные / Под ред. Н. И. Стрельниковой. – СПб., 2006. Т. 2, вып. 4. – 180 с.
11. Горленко В.М., Вайнштейн М.Б., Качалкин В.И. Микробиологические процессы // Реликтовое озеро Могильное/ Под ред. Гуревича В.И., Цееб Р.Я. – Л.: Наука, 1975. – С. 188-197.
12. Давыдов Д.А. Аннотированный список цианопрокариот Мурманской области. I. Chroococcales // Новости систематики низших растений. 2009. Т. 43. – С. 50-62.
13. Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцевом море) // Труды Петергофского естественно-научного института. №2, Л., 1925.
14. Ежова Е.Е., Ланге Е.К., Полунина Ю.Ю., Кравцов В.А., Емельянов Е.М. Планктон и бентос меромиктического озера Могильное (о. Кильдин, Баренцево море) // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки. Тезисы докладов Международной научной конференции (г. Мурманск, 10–12 марта 2010 г.). – Апатиты, 2010. - С. 72-74.

15. Емельянов Е. М., В. А. Кравцов, Г. А. Тарасов, 2010 г. Основные черты состава донных осадков анаэробного озера Могильного // *Океанология*, 2010, т. 50, № 3, с. 440–457.
16. Ефимов В.А., Беляев Б.М., Василенко А.Н., Воронов Д.А., Ефимова Л.Е., Краснова Е.Д., Мироненко А.А., Фролова Н.Л. Новые данные гидролого-гидрохимических исследований стратифицированных водоёмов отделяющихся от моря // *Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. — Т. 3. — ИО РАН Москва, 2017. — С. 189–193.
17. Ефимова Л. Е., Фролова Н. Л., Краснова Е. Д. и др. Отделяющиеся водоемы Белого моря: особенности формирования гидрологической структуры и химического состава воды // *Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны (электронная публикация)*. — Архангельск, 2016. — С. 524–530.
18. Ефимова Л.Е., Фролова Н.Л., Краснова Е.Д., Телегина Е.А., Телегина А.А., Ефимов В.А. Гидрохимические особенности водоемов западного побережья Белого моря: от морских лагун – к меромиктическим озерам // *Материалы научной конференции Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Ростов-на-Дону, 8-10 сентября 2015 г.* — Т. 1. — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 39–43.
19. Ильяш Л. В., Житина Л. С., Федоров В. Д. Фитопланктон Белого моря. – М.: «Янус-К», 2003. 168 с.
20. Исаченко Б.Л. Исследование над бактериями Северного Ледовитого океана // *Тр. Мурманской научной промысловой экспедиции*. 1906 г. СПб., 1914.
21. Краснова Е.Д., Беляев Б.М., Василенко А.Н., Воронов Д.А., Ефимов В.А., Ефимова Л.Е., Летарова М.А., Мардашова М.В., Мироненко А.А., Фролова Н.Л. Три соленых озера возле о. Соностров: вертикальная стратификация в 2010 и 2017 гг. // *Труды VI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU – 2017)»*. — ПолиПРЕСС Москва, 2017. — С. 682–694.
22. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // *Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов*. — Т. 12 В: *Труды Беломорской биостанции МГУ*. — Т-во научных изданий КМК Москва, 2016. — С. 211–241.
23. Краснова Е. Д., Демиденко Н. А., Пантюлин А. Н. и др. Термический и ледовый режим реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря. / *Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей*. VIII Международная научно-практическая конференция (Москва, РУДН, 24-27 ноября 2014 г.). Т. 1. Москва, 2014, с. 430-443.
24. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н., Тодоренко Д.А., Белевич Т.А., Милютин И.А., Воронов Д.А. Цветение криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta, Rhodomonadaceae) в редокс зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря // *Микробиология*. — 2014. — Т. 83, № 3. — С. 346–354.
25. Кузьмин Г.В. Фитопланктон. Видовой состав и обилие // *Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов*. М.: Наука, 1975. – С.73-87.
26. Ланге Е.К. Сообщество фитопланктона меромиктического озера Могильное (о-в Кильдин, Баренцево море) // *Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки: тезисы докл. междунар. науч. конф. (Мурманск, 10-12 марта 2010 г.)* – Апатиты: КНЦ РАН, 2010. – С. 126–128.
27. Ланге Е.К., Гогорев Р.М. Современные диатомовые меромиктического озера Могильное (о. Кильдин, Баренцево море) // *Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия: Материалы XII междунар. науч. конф. диатомологов, Москва, 19–24 сентября 2011 г.* М., 2011. – С. 101–104.
28. Линко Я.К. Исследования над составом и жизнью планктона Баренцова моря // *Эксп. для Науч.-пром. иссл. у берегов Мурмана*.

29. Лунина О., Горленко В.М., Попова О.А., Акимов В.Н., Русанов И.И., Пименов Н.В. Сезонные изменения структуры сообщества аноксигенных фототрофных бактерий реликтового озера Могильное (о. Кильдин, Баренцево море). // Микробиология, 2005, т. 74, №5, С. 677-686.
30. Макаревич П.Р. Планктонные альгоценозы эстуарных экосистем. – М.: Наука, 2007. – 223 с.
31. Митяев М.В., Корсун С.А., Стрелков П.П., Матишов Г.Г. Древние береговые линии Восточного Кильдина. / Доклады Академии наук. 2008, Т. 423, № 4, С. 546-550.
32. Реликтовое озеро Могильное. Ред. Гуревич В.И., Цеев Р.Я. Л.: Наука, 1975, 298 с.
33. Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997-2000 гг.). Мурманск: Изд-во. ПИНРО. 2002, 164 стр.
34. Риппас Б.А. Смена вод в реликтовом озере Могильном на о. Кильдине. - Известия Имп. Русск. геогр. об-ва, 1897, т. 33, вып. 1.
35. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем //Под ред. Абакумова В.А. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
36. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003 202 с.
37. Рылов В.М. К сведениям о пресноводной фауне оз. Могильного (Мурман, ос. Кильдин) // Тр. И. СПб. Общ. Естеств., т. XLVL, в.1, 1915.
38. Семенов В.Н. Систематика и экология морских бассейнов Севера на разных этапах изоляции. Апатиты, 1988. 45 стр.
39. Семенов В.Н., 1988 б. Классификация морских бассейнов бореально-арктической зоны: экологический подход. Апатиты, 26 стр.
40. Шаханин Н.И. О морских элементах зоопланктона оз. Могильного // Тр. Петрогр. Обще. Естеств., т. XLII, в.1, 1916.
41. Широкова В. А. Карл Шмидт и загадка озера Могильного (гидробиологический аспект) // Современная биогеография. Материалы Второй всероссийской научной телеконференции / Под ред. А.А.Лиховида, В.К.Рахилина. М.-Ставрополь: ИИЕТ РАН; Изд-во СГУ, 2004. С. 24-29.
42. Chomérat N., Couté A., Fayolle S., Mascarell G., Cazaubon A. Morphology and ecology of *Oblea rotunda* (Diplopsalidaceae, Dinophyceae) from a new habitat: a brackish and hypertrophic ecosystem, the Étang de Bolmon (South of France) //European Journal of Phycology. 2004. 39: 317-326.
43. HELCOM, Baltic Marine Environmental Protection Commission – Helsinki Commission Guidelines for the Baltic Monitoring Programme for the third stage; Part D. Biological Determinands, 27 D. 1988. – 161 pp.
44. Kononen K., Niemi Ä. Variation in phytoplankton and hydrography in the outer archipelago at the entrance to the Gulf of Finland in 1968-1975 // Finnish. Mar. Res. 1986. No 253. – P. 35-51.
45. Krammer K. 2000. The genus *Pinnularia*. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 1. Ruggell: 1–703.
46. Krammer, K. 2002. *Cymbella*. Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 3. Ruggell: 1–584.
47. Krammer K. 2003. *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 4. Ruggell: 1–530.
48. Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/1. Stuttgart: 1–876.
49. Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. Teil 2. Bacillariaceae, Ephithemiaceae, Surirellaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/2. Stuttgart; New York: 1–596.

50. Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae. Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/3. Stuttgart; Jena: 1–599.
51. Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae. Teil 4. Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen Navicula (Lineolatae) and Gomphonema; Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1–4. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/4. Stuttgart; Jena: 1–433.
52. Krasnova E.D., Kharcheva A.V., Milyutina I.A., Voronov D.A., Patsaeva S.V. Study of microbial communities in redox zone of meromictic lakes isolated from the White Sea using spectral and molecular methods // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. – 2015. – Vol. 95, No. 8. – P. 1579-1590.
53. Lange-Bertalot H. 2001. Navicula sensu stricto. 10 Genera separated from Navicula sensu lato. Frustulia. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 2. Ruggell: 1–526.
54. Levkov Z. 2009. Amphora sensu lato. Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 5. Ruggell: 5–916.
55. Millette N.C., Pierson J.J., Aceves A., Stoecker D.K. Mixotrophy in Heterocapsa rotundata: A mechanism for dominating the winter phytoplankton // Limnology and Oceanography. 2017.62 (2): 836–845.
56. Overmann J., Tilzer M.M. Control of primary productivity and the significance of photosynthetic bacteria in a meromictic kettle lake Mittlerer Buchensee, West-Germany // Aquatic Sciences. – 1989. – Vol. 51. – N 4. – Pp. 261-278.
57. Rogozin D.Y., Tarnovsky M.O., Belolipetskii V. M., Degermendzhi A. Disturbance of meromixis in saline Lake Shira (Siberia, Russia): Possible reasons and ecosystem response // Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters, 66, 2017, 12-23.
58. Rothenberger M.B., Burkholder J.M., Wentworth T.R. Use of long-term data and multivariate ordination techniques to identify environmental factors governing estuarine species dynamics. Limnology and Oceanography. 2009. 54 (6): 2107-2127. DOI: 10.4319/lo.2009.54.6.2107
59. Strelkov P., Shunatova N., Fokin M., Usov N., Fedjuk M., Malavenda S., Korsun S. (2014). Marine Lake Mogilnoe (Kildin Island, the Barents Sea): one hundred years of solitude // Polar Biology, 37(3), 297-310.
60. Zhiltsova A.A., Kharcheva A.V., Krasnova E.D., Lunina O.N., Voronov D.A., Savvichev A.S., Gorshkova O.M., Patsaeva S.V. Spectroscopic study of green sulfur bacteria in stratified water bodies of the Kandalaksha gulf of the White Sea // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2018. – Vol. 31, No. 4. – P. 390-396.

Подтверждаем, что все указанные в данном отчете сведения нами проверены и являются верными.

Дата составления отчета _____

Руководитель проекта
организации-грантополучателя _____ / _____ /

Бухгалтер проекта
организации-грантополучателя _____ / _____ /

Подписи сторон:

ГРАНТОПОЛУЧАТЕЛЬ:

Форма Информационного отчета согласована:

ГРАНТОДАТЕЛЬ:	ГРАНТОПОЛУЧАТЕЛЬ:
Всероссийская общественная организация «Русское географическое общество»	
Исполнительный директор _____ /А.А. Манукян/ МП	