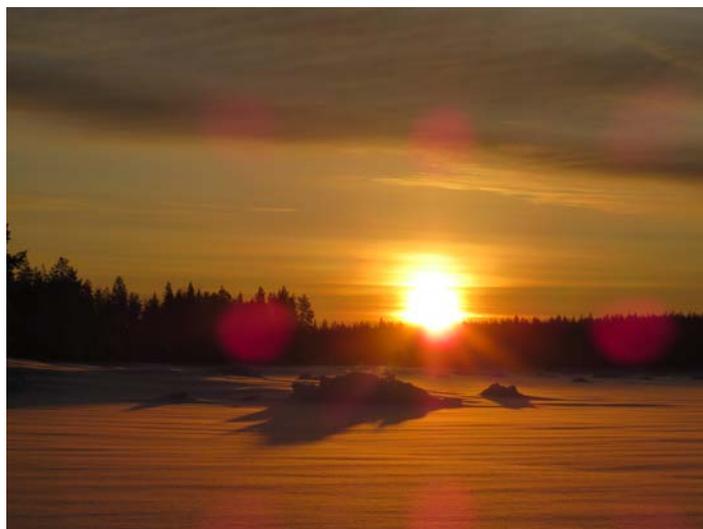


**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**имени М. В. Ломоносова**  
**ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра гидрологии суши**



# **Отчет**

**Комплексное исследование состояния водных объектов и динамики приземного слоя атмосферы на примере западного побережья Белого моря в зимний период**



**Руководители экспедиции НСО:**

**м.н.с., к.г.н. П.Н. Терский, инж. А.А. Попрядухин, проф., д.г.н. Н.Л. Фролова,  
с.н.с., к.ф.-м.н. В.М. Степаненко,  
в.н.с., к.г.н. Т.Е. Самсонов**

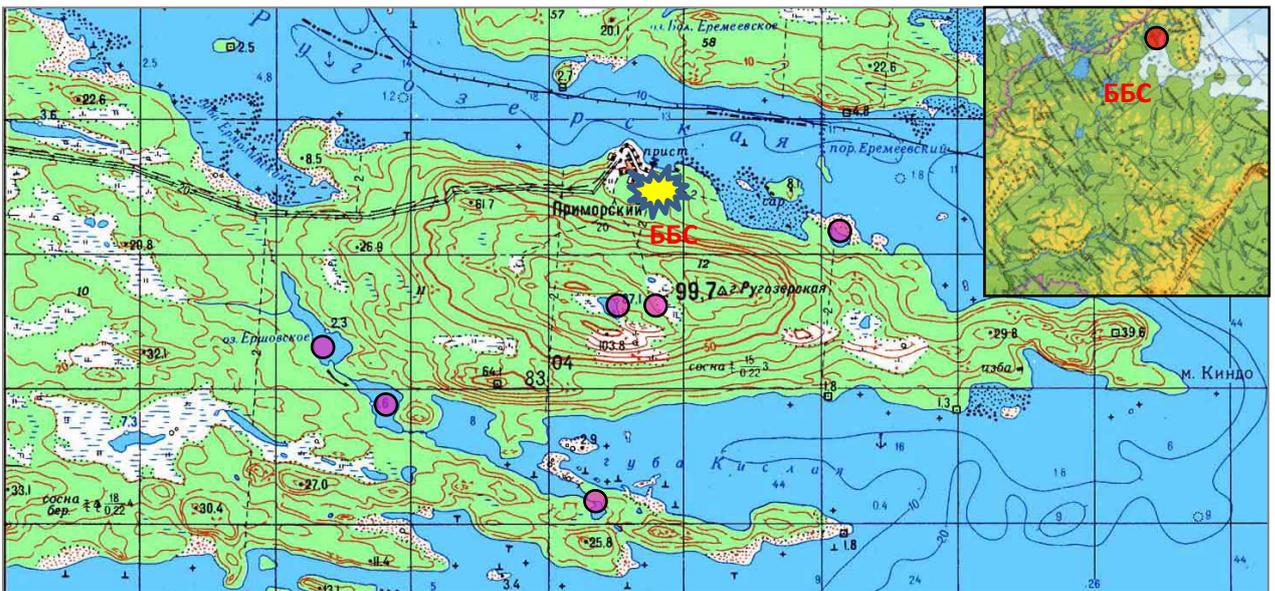
**ББС МГУ – Москва, 2015**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ОЗЕР, ИХ ИЗУЧЕННОСТЬ</b> ( <i>А.ТЕЛЕГИНА, Е.ТЕЛЕГИНА</i> ) .....	<b>7</b>
<b>2. СОСТАВ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ, ИХ ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b> ( <i>А.ТЕЛЕГИНА, Е.ТЕЛЕГИНА</i> ) .....	<b>10</b>
<b>3. СИНОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕРИОД ЭКСПЕДИЦИИ 2015 Г.</b> ( <i>Д.ЗАХАРЧЕНКО</i> ) .....	<b>13</b>
<b>4. ПОТОКИ РАДИАЦИИ НА ПОЛУОСТРОВЕ КИНДО</b> ( <i>А.ПОЛЮХОВ</i> ).....	<b>18</b>
<b>5. ТУРБУЛЕНТНЫЕ ПОТОКИ ТЕПЛА В ПРОЛИВЕ БОЛЬШАЯ САЛМА</b> ( <i>А.ОСИПОВ</i> ) .....	<b>25</b>
<b>6. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯ ВЕТРА НА ОЗЕРЕ ВЕРХНЕЕ</b> ( <i>А.ПОЛЮХОВ</i> ).....	<b>27</b>
<b>7. КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕТАНА В ВОЗДУХЕ НАД МОРСКИМ ЛЬДОМ</b> ( <i>С.ГУСЕВА</i> ) .....	<b>35</b>
<b>8. ВЛИЯНИЕ ПРИЛИВНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРМОХАЛИННУЮ СТРУКТУРУ ВОД БЕЛОГО МОРЯ</b> ( <i>А.КОРАБЛИНА, А.ТИТОВА, Г.КРАВЧУК</i> ).....	<b>38</b>
<b>9. ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ББС</b> ( <i>С.ГОРИН, А.ВАСИЛЕНКО, П.ТЕРСКИЙ</i> ) .....	<b>42</b>
<b>10. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕР В ОКРЕСТНОСТЯХ ББС В ЯНВАРЕ-ФЕВРАЛЕ 2015 Г.</b> ( <i>В.БАЗИЛОВА, Б.БЕЛЯЕВ, Н.ТУРМАЧЕВ</i> ).....	<b>52</b>
<b>11. ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОЗЕР В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2015 Г.</b> ( <i>В.ЕФИМОВ, Е.ТЕЛЕГИНА, А.МОИСЕЕВ, В.БАЗИЛОВА</i> ).....	<b>65</b>
<b>12. ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В СНЕЖНО-ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ РУГОЗЕРСКОЙ ГУБЫ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ</b> ( <i>А.ТИТОВА</i> ) .....	<b>83</b>
<b>13. ИССЛЕДОВАНИЕ БЕНТОСНОГО СООБЩЕСТВА КИСЛО-СЛАДКОГО ОЗЕРА ЗИМОЙ 2015 Г.</b> ( <i>М.МАРДАШОВА, Ф.БАЛАБИН, А.КОСЕНКОВ</i> ) .....	<b>91</b>
<b>14. СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕЛЕННЫХ СЕРНЫХ БАКТЕРИЙ ИЗ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ ВОДОЕМОВ И РАЗДЕЛЕНИЕ ВКЛАДОВ РАЗНЫХ ГРУПП БАКТЕРИЙ</b> ( <i>А.ХАРЧЕВА, К.ЛАПТИНСКИЙ, О.КАЛМАЦКАЯ</i> ) .....	<b>96</b>
<b>15. ОСОБЕННОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ИССЛЕДУЕМЫХ ВОДОЕМАХ</b> ( <i>А.МОИСЕЕВ</i> ).....	<b>106</b>
<b>16. ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА</b> ( <i>А.ТЕЛЕГИНА, И.КОРПУШЕНКОВ, А.САЗОНОВ, М.ХАРЛАМОВ</i> ) .....	<b>111</b>
<b>17. ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕНСИВНОСТИ НАСЫЩЕНИЯ КИСЛОРОДОМ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ЗИМНЕГО ЗАМОРА</b> ( <i>С.ГОРИН, В.ЕФИМОВ, Е.ТЕЛЕГИНА, Б.БЕЛЯЕВ, В.БАЗИЛОВА, А.ВАСИЛЕНКО</i> ) .....	<b>128</b>
<b>18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТНЫХ ОТМЕТОК ИССЛЕДУЕМЫХ ОЗЕР И СОЗДАНИЕ ГИС-ПРОЕКТА</b> ( <i>В.БЕЛОУСОВА, Р.КОШУТИН</i> ).....	<b>132</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>138</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	<b>146</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОБ ВОДЫ ОЗЕР ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	<b>150</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. КООРДИНАТЫ ТОЧЕК ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ В 2015 Г.</b> .....	<b>153</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Экспедиция НСО студентов кафедр гидрологии суши, картографии и геоинформатики, океанологии, метеорологии и климатологии и 1 курса географического факультета, студентов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова проходила в районе Беломорской биологической станции МГУ (ББС) (Кандалакшский залив, Белое море) с **25 января по 7 февраля 2015 г.** Объектом исследований были уникальные малоизученные **меромиктические озера побережья Белого моря**, находящиеся на разных стадиях обособления и отделения от моря. Своим появлением эти водоемы обязаны изостатическому поднятию суши, которое началось 12 тысяч лет назад после схода ледника, и продолжается по сей день со скоростью около 4-5 мм в год [1]. Для меромиктических водоемов характерно отсутствие перемешивания между слоями с разной минерализацией.



**Рис. В1.** Карта района проведения экспедиции НСО 2015 г. в районе Беломорской биологической станции (отмечены исследуемые озера)

**Цель экспедиции** - получение данных натуральных наблюдений зимнего режима водных объектов побережья Белого моря в окрестности Беломорской биологической станции МГУ, включая морские заливы и озера на разной стадии отделения от моря и особенностей динамики приземного слоя атмосферы в районе этих водных объектов. Их необычный химический состав, разнообразная гидрологическая структура, особые микроклиматические условия, влияние Белого моря на их режим потребовало проведения самых разнообразных гидролого-гидрохимических, гидробиологических и метеорологических исследований.

**Актуальность и новизна исследований** связана с тем, что в гидрологическом отношении рассматриваемые водные объекты изучены недостаточно. В тоже время небольшие размеры прибрежных меромиктических водоемов делают их удобной моделью для изучения трансформации вещества и энергии, что позволяет лучше понимать процессы, происходящие в аналогичных крупных водоемах, а также прогнозировать экологические последствия искусственного отделения морских акваторий, которое может происходить при строительстве дамб, мостов и приливных электростанций. Каждый водоем — индивидуальность, а все вместе они выстраиваются в определенный ряд, в котором можно проследить эволюцию гидрологической и экологической систем, от морских к пресноводным. Особый интерес представляет расположение этих озер в арктической зоне нашей страны.

Во время экспедиции 2015 г. были продолжены исследования, начатые в прошлом году по изучению пространственной изменчивости целого ряда гидрологических и гидрохимических характеристик озер, их ледового режима. Одновременно были проведены разнообразные метеорологические и океанологические исследования по изучению структуры атмосферного пограничного слоя над озерными экосистемами на примере горизонтального и вертикального турбулентного переноса.

#### **Задачи экспедиции:**

1. Приобретение студентами навыков полевых геодезических, гидрологических, океанологических, метеорологических и гидрохимических работ на реках и озерах, морском побережье в зимний период.
2. Детальное исследование гидрологического режима водных объектов в районе Беломорской биостанции.
3. Проведение гидролого-гидрохимических исследований озер Кисло-Сладкое, Нижнего и Верхнего Ершовского, озера у Зеленого Мыса, Водопроводного, Верхнего, Трехцветного.
4. Проведение метеорологических наблюдений с помощью автоматической метеостанции, установленной на пирсе биостанции для определения метеорологических параметров в период экспедиции.
5. Исследование газообмена и структуры атмосферного пограничного слоя над морем.
6. Исследование структуры атмосферного пограничного слоя над озерными экосистемами.
7. Оценка пространственной изменчивости характеристик снежного покрова в бассейнах исследуемых озер.
8. Отработка методики определения концентрации метана и  $\text{CO}_2$  во внутренних и сообщающихся с морем водоемах

Экспедиция базировалась на Беломорской биологической станции МГУ.

#### **Состав работ во время проведения экспедиции НСО:**

1. Определение сезонной изоляции трех водоемов-изгоев (Кисло-Сладкое, Н. Ершовское, Зеленый мыс) из-за ледового барьера с использованием логгеров (поставлено 10 датчиков уровня, температуры и солености воды).
2. Изучение вертикальной структуры водоемов, отделяющихся от моря, и изменчивости физико-химических характеристик ( $T$ ,  $S$ ,  $pH$ ,  $Eh$ ,  $O_2$ ) в зимний период (по сравнению с тем же периодом 2014 г.) (Кисло-Сладкое, Н. Ершовское, Зеленый мыс, Трехцветное).
3. Определение запаса воды в снежном покрове на полуострове Киндо для проверки спутниковых данных, в частности, на водосборе В. и Н. Ершовских озер, Верхнего, Водопроводного, лагуны на Зеленом мысу и оз. Трехцветного.
4. Геодезическая съемка: определение уровня поверхности льда в водоемах на разных стадиях отделения от моря и его межгодовой изменчивости.
5. Определение состава бентоса и его количественных характеристик (численности, биомассы) в зимнее время в оз. Кисло-Сладком (подробно) и в других отделяющихся водоемах (впервые).
6. Исследование содержимого желудков некоторых бентосных организмов Кисло-Сладкого в зимний период, отработка методики.
7. Сравнение приливной волны в водоемах-изгоях и на соседней морской акватории (с

использованием логгеров).

8. Определение гидрохимических характеристик разных слоев воды в пяти отделяющихся водоемах (Кисло-Сладкое, Зеленый мыс, Н. Ершовское, Трехцветное, Еловое).

9. Изучение вертикальной гидрологической структуры трех пресных озер (В. Ершовское, Верхнее, Водопроводное).

10. Изучение вертикального распределения фототрофных микроорганизмов (по полосам хлорофилла и бактериохлорофилла), растворенного органического вещества и белковых комплексов по спектрам поглощения и флуоресценции.

11. Определение изотопного состава снега, льда, озерной и морской воды.

12. Изучение состава планктона на разных глубинах отделяющихся озер.

13. Исследование структуры атмосферного пограничного слоя над озерными экосистемами на примере горизонтального и вертикального турбулентного переноса над оз. Верхним с помощью установленных на нем газоанализатора и метеорологического оборудования, а также в пробах воды с разных глубин для определения метана и  $\text{CO}_2$ .

14. Исследование газообмена и структуры атмосферного пограничного слоя над морем, в частности - турбулентных потоков  $\text{CO}_2$ , метана, влаги, тепла и импульса над морским льдом в присутствии полыньи и температурной структуры атмосферного пограничного слоя с помощью газоанализатора и метеорологического оборудования, которые будут установлены на пирсе ББС МГУ.

15. Отработка методики определения концентрации метана и  $\text{CO}_2$  во внутренних и сообщающихся с морем водоемах.

16. Изучение термохалинной структуры вод моря, выявление влияния приливов на формирование этой структуры и определение временных масштабов изменчивости температуры и солености в Ругозерской и Кислой губах.

17. Микроклиматические исследования, установка автоматической метеостанции, сравнение полученных данных с прогнозными значениями по модели COSMO

18. Проведение научных семинаров (рис. В4).

19. Камеральная обработка данных наблюдений (построение карт, предварительные расчеты, гидрохимический анализ проб воды) (рис. В2).



Рис. В2. Полевые и камеральные работы во время экспедиции 2015 г.

В состав экспедиции (рис. В3) входили студенты **1 курса географического факультета** (Кравчук Г.А., Моисеев А.И.),

**2-5 курсов кафедры гидрологии суши** (Базилова В.О., Беляев Б.М., Василенко А.Н., Ефимов В.А., Корпушенков И.А., Сазонов А.А., Терский Петр Н., Турмачев Н.В., Харламов М.А.), **картографии и геоинформатики** (Белюсова В.Н., Кошутин Р.А.), **метеорологии и кли-**

матологии (Гусева С.П., Захарченко Д.И., Осипов А.М., Полухов А.А.), океанологии (Титова А.М.), а также студенты кафедры **общей физики физического факультета МГУ** (Калмацкая О.А., Лаптинский К.А., Харчева А.В.), студенты **кафедры биофизики физического факультета МГУ** (Балабин Ф.А., Косенков А.В.), аспиранты Телегина А.А., Телегина Е.А. (кафедра гидрологии суши), Кораблина А.Д. (кафедра океанологии).



**Рис. В3.**  
Участники  
Беломор-  
ской экспе-  
диции НСО  
2015 г.

**Руководители экспедиции:** инж. А.А. Попрядухин, м.н.с., к.г.н. П.Н. Терский, профессор, д.г.н. Н.Л. Фролова (кафедра гидрологии суши), в.н.с., к.г.н. Т.Е. Самсонов (кафедра картографии и геоинформатики), с.н.с. Государственного океанографического института Н.А. Демиденко, в.н.с., к.г.н. С.Л.Горин (ВНИИРО), с.н.с., к.ф.-м.н. В.М.Степаненко (кафедра метеорологии и климатологии), д.ф.-м.н., зав. лаб. И.А.Репина (Институт физики атмосферы РАН), к.ф.-м.н. А.Ю.Артамонов (Институт физики атмосферы РАН) с.н.с., к.б.н. Е.Д.Краснова (Беломорская биологическая станция биологического факультета МГУ), М.В. Мардашова (биологический факультет МГУ).

Настоящий отчет составлен по результатам полевых работ на озерах западного побережья Белого моря в январе–феврале 2015 г. и обработки данных измерений в гидрохимической лаборатории кафедры гидрологии суши, Беломорской биостанции, физфака МГУ, института океанологии РАН.



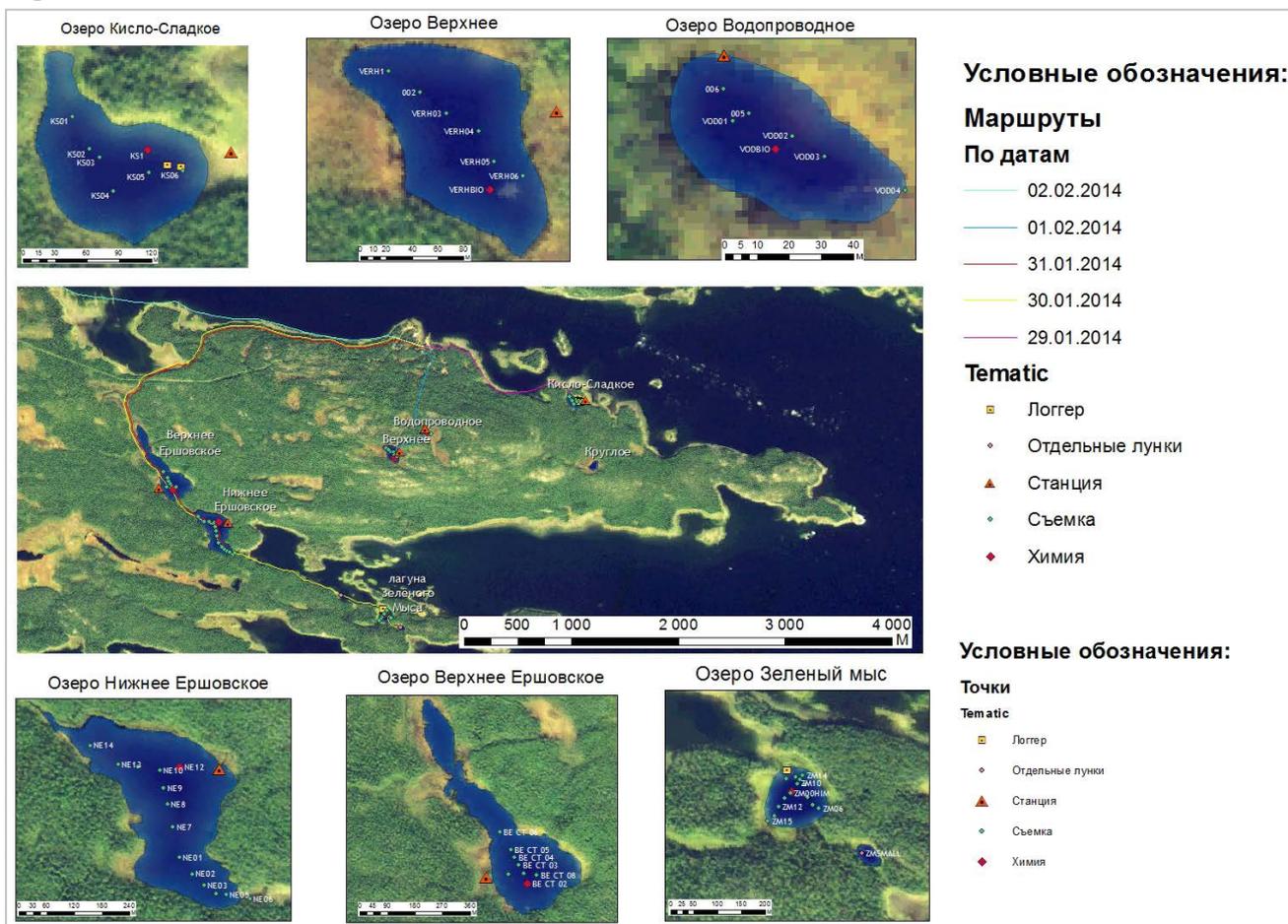
**Рис. В4.** Во время семинаров в конференц-зале ББС

## 1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ОЗЕР НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ, ИХ ИЗУЧЕННОСТЬ

Большая часть береговой зоны Белого моря в настоящее время интенсивно поднимается. Это служит причиной отделения от его акватории многочисленных губ, небольших заливов и прибрежных проливов и образования небольших озер, постепенно теряющих связь с морем. Геоморфологические и гидрологические особенности озер формируют специфические гидрохимические и гидробиологические условия, отдельные черты которых прослежены в других водоемах аналогичного генезиса [2-4]. В ходе такого отторжения происходят серьезные изменения в водных сообществах. На смену морской биоте приходит комплекс видов, способных обитать в широком диапазоне солености, в том числе организмы, характерные для эстуариев, потом - пресноводные виды, а если дно водоема ровное, то формируется марш, и его осваивают болотные и сухопутные виды. Соленость воды - далеко не единственный параметр, который изменяется по мере изоляции. Из-за ослабления приливно-отливных явлений сужается, а потом и вовсе исчезает литораль, прежнюю приливно-отливную зону осваивают сначала растения-галофиты, а когда сформируется почва, образуется сообщество приморского луга. Прекращение приливно-отливного перемешивания приводит к расслоению водной толщи, и возникновению в донных ямах застойной зоны с более высокой соленостью, низкой температурой, без кислорода. В одном из наиболее изолированных водоемов, который практически утратил связь с морем, захороненная в донном углублении вода имеет постоянную соленость и температуру около  $+5^{\circ}\text{C}$ , что наблюдалось в течение нескольких лет наблюдений в летнее время. Прекращение турбулентности и возникновение слоев, резко различающихся по физическим и гидрохимическим параметрам, создает условия для развития бактериальных сообществ, которые приходят на смену сообществам макроорганизмов. Изолированность и резкая плотностная стратификация вод в озерах усиливают их своеобразие до сверхконтрастности, когда в слое всего лишь 1 м происходит смена пере-сыщенных  $\text{O}_2$  вод на воды с восстановительными условиями (с высоким содержанием  $\text{H}_2\text{S}$ ). Отшнуровывающиеся озера вызывают значительный интерес в плане изучения общих закономерностей формирования анаэробных условий в гидросфере, взаимодействия и сменяемости пресноводной и морской фаун, разнообразия происходящих в воде и осадках биогеохимических процессов. Актуальность таких исследований обусловлена возможностью массового возникновения подобных водоемов в будущем при падении уровня Мирового океана. Изучаемые озера находятся недалеко от Беломорской биологической станции МГУ в пос. Приморском (рис. 1.1). Геоморфологически регион приурочен к северной оконечности Прибеломорской низменности. Максимальные высоты окрестной территории не превышают 100 м.

В настоящее время главным эндогенным процессом, формирующим облик региона, является поднятие земной коры. Оно происходит со средней скоростью 5 мм в год и приводит к отделению от акватории Кандалакшского залива лагун, заливов и проливов, появлению отмелей [5] (рис. 1.2). Так образуются водоемы, постепенно теряющие свою связь с морем. Полуостров Киндо, на котором расположена биостанция, пересекается северным полярным кругом. Географическое положение озер определяет климатические условия формирования их гидрологического режима. В данном случае это продолжительная зима со среднесуточной температурой в январе  $-11^{\circ}\text{C}$  и относительно короткое влажное лето с максимальным количеством осадков в августе и со средней температурой в июле  $+14^{\circ}\text{C}$ . Замерзание озер с продолжительным ледоставом (с октября по май) приводит к значительному ослаблению связи с

морем. В теплый период года в районе преобладают северо-восточные и восточные ветры. Лесной покров на берегах озер замедляет скорость ветра над ними, что ослабляет ветровое перемешивание их вод.



**Рис. 1.1.** Район исследований – полуостров Киндо

Территория биостанции находится в зоне избыточного увлажнения. Интенсивному испарению влаги с поверхности земли и водоемов препятствуют низкие температуры воздуха, а также его высокая влажность, которая колеблется от 66-70% в мае-июне до 65-89% зимой. Эти причины, а также большое количество котловин и др. понижений рельефа местности способствуют заболачиванию. Важным являются и гидрологические особенности прилегающей акватории Белого моря. Амплитуда приливо-отливных колебаний в районе ББС составляет 1,4–2,4 м. Через часть пролива, к которой примыкает станция, проходит основной объем воды, наполняющей в прилив значительные соседние акватории, что приводит к возникновению очень сильных приливо-отливных течений (1,5–2,5 м). Из-за такой высокой скорости течения этот район Салмы зимой не замерзает. Остаются открытыми даже некоторые участки литорали. Большая часть акватории, прилегающей к полуострову Киндо относительно мелководна, за исключением Великой Салмы, по дну которой проходит желоб глубиной до 25 м напротив поселка биостанции, возрастающей в восточном направлении до 50 м. Солёность воды в акватории вокруг полуострова Киндо пониженная от 16 до 28‰, с минимумом в период весеннего таяния льдов и максимумом в зимнее время. Ледостав начинается в октябре, когда температура воздуха опускается ниже нуля, постоянный ледовый покров формируется в декабре и держится до марта. Полное очищение акватории ото льда происходит в первой половине мая.

Расположение озер на границе моря и суши предопределяет особый подход к их изучению как к водоемам, обладающим чертами биогеосистемы, например, эстуарного или лиманного типа [6]. Их нельзя рассматривать как мелкие морские заливы в силу значительной отчлененности от Кандалакшского залива выше среднего уровня моря барьерами. Специфические геоморфологические черты отшнуровывающихся озер - воронкообразная форма дна с впадиной и окружающими ее обширными мелководьями. Влияние суши проявляется в разном опреснении озер, быстро меняющемся во времени. Наложение данного гидрологического фактора на геоморфологические особенности озер в итоге приводит к формированию в них своеобразной гидролого-гидрохимической обстановки. О ее уникальности свидетельствуют величины и характер распределения гидрологических и гидрохимических параметров, отличающихся от характеристик Кандалакшского залива и ранее не отмеченных в других водоемах. Тем не менее, ее отдельные черты можно найти в некоторых прибрежных водоемах, формирование которых происходит в сходных условиях. К таким водоемам (описаны в научной литературе) можно отнести оз. Могильное на о-ве Кильдин в Баренцевом море [3-4], прибрежный водоем Устричный, находящийся между Вудс Холлом и Фалмосом, Массачусетс, США, а также озера, примыкающие к Черной губе на Новой Земле [2] и, вероятно, губа Долгая на Соловецких островах Белого моря [6]. В 1994 г. была измерена температура и соленость воды в двух небольших водоемах недалеко от ББС на южном берегу Кандалакшского залива. При отборе проб был отмечен запах сероводорода, свидетельствующий об анаэробных условиях, не характерных для северных регионов. В 2001—2003 гг. водоемы исследовала экспедиция, в которой принимали участие специалисты из ИГ РАН, ИО РАН, МГУ и др. организаций [7]. Летом 2010 г. ББС МГУ совместно с Всемирным фондом дикой природы WWF организовали экспедицию вдоль Карельского побережья специально для поиска подобных озер. С 2012 г. проводятся комплексные экспедиции (<http://wsbs-msu.ru>) по изучению гидрологии, гидрохимии, гидробиологии этих озер.

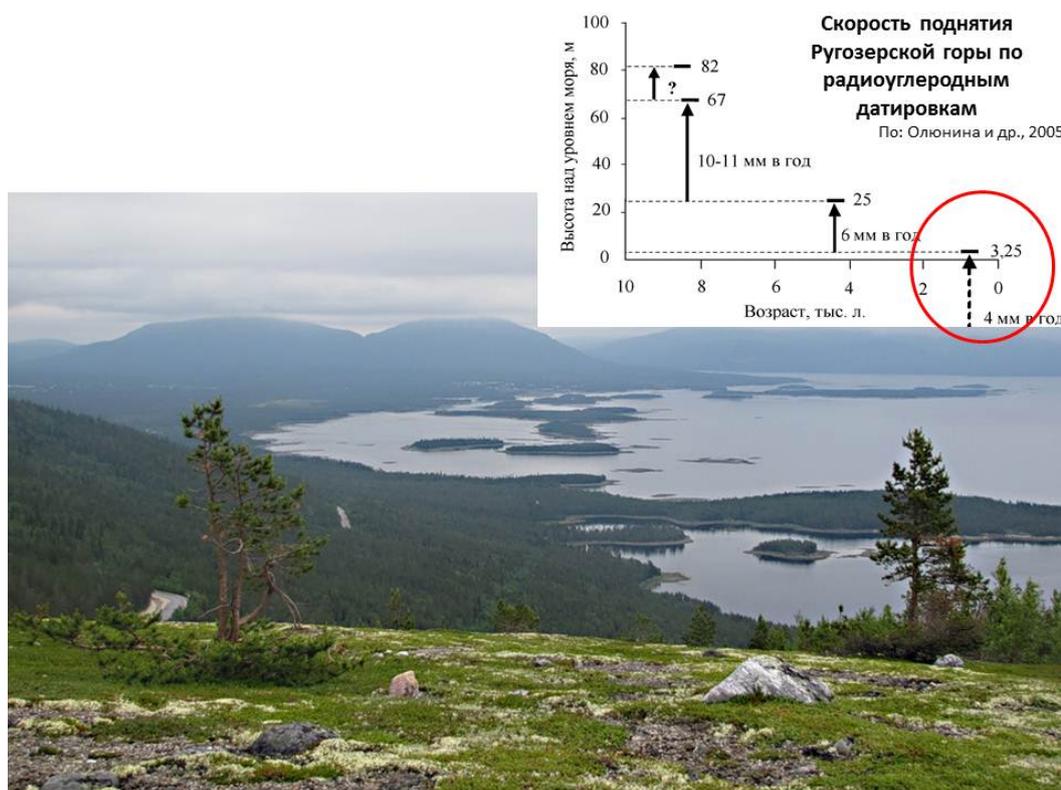


Рис. 1.2. Кандалакшский залив

## 2 СОСТАВ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ, ИХ ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

За время зимней экспедиции 2015 г. были обследованы семь озер: Кисло-Сладкое, Лагуна Зеленого мыса, Нижнее Ершовское, Верхнее Ершовское, Верхнее, Водопроводное и Трехцветное. Необходимо отметить, что все вышеперечисленные озера отличаются друг от друга по различным параметрам (абсолютная отметка водной поверхности, ширина, длина, площадь бассейна, площадь зеркала). Гидрографические характеристики озер были получены нами во время экспедиции 2014 г. с помощью обработки карт, соответствующих космических снимков и данных геодезических и батиметрических работ (рис. 2.1).

Озеро **Кисло-сладкое** (рис. 2.2), расположенное в непосредственной близости от Канда-лакшского залива и, предположительно, имеющее с ним связь во время сизигийных приливов, имеет абсолютную отметку поверхности льда 0,4 метра, а водной поверхности 0,01 метра. Крайне малое превышение водной поверхности озера над поверхностью залива является косвенным подтверждением гипотезы перемешивания данных водных объектов. Площадь этого озера составляет 16159 м<sup>2</sup>, при площади бассейна 157349 м<sup>2</sup>. Соотношение площади бассейна к площади озера составляет 9,7. Длина озера - 196 м, а ширина - 147 м. Оно образовалось в результате отчленения акватории пролива между небольшим, заросшим соснами безымянным островом и северным коренным берегом п-ова Киндо. В прошлом дно пролива с двух сторон ограждали два подводных порога, которые из-за поднятия суши вышли на поверхность и образовали перемычки, отделяющие акваторию озера от пролива Великая Салма [7]. Средняя глубина Кисло-сладкого озера - 1-1,5 м. В настоящее время пополнение озера пресной водой осуществляется преимущественно во время таяния снега, а дебет стока пресного ручья в летнее время не превышает 1,5 м<sup>3</sup> сут<sup>-1</sup>. Проникновение в озеро морской воды происходит эпизодически во время сизигийных приливов, а также особо сильных нагонных ветров.

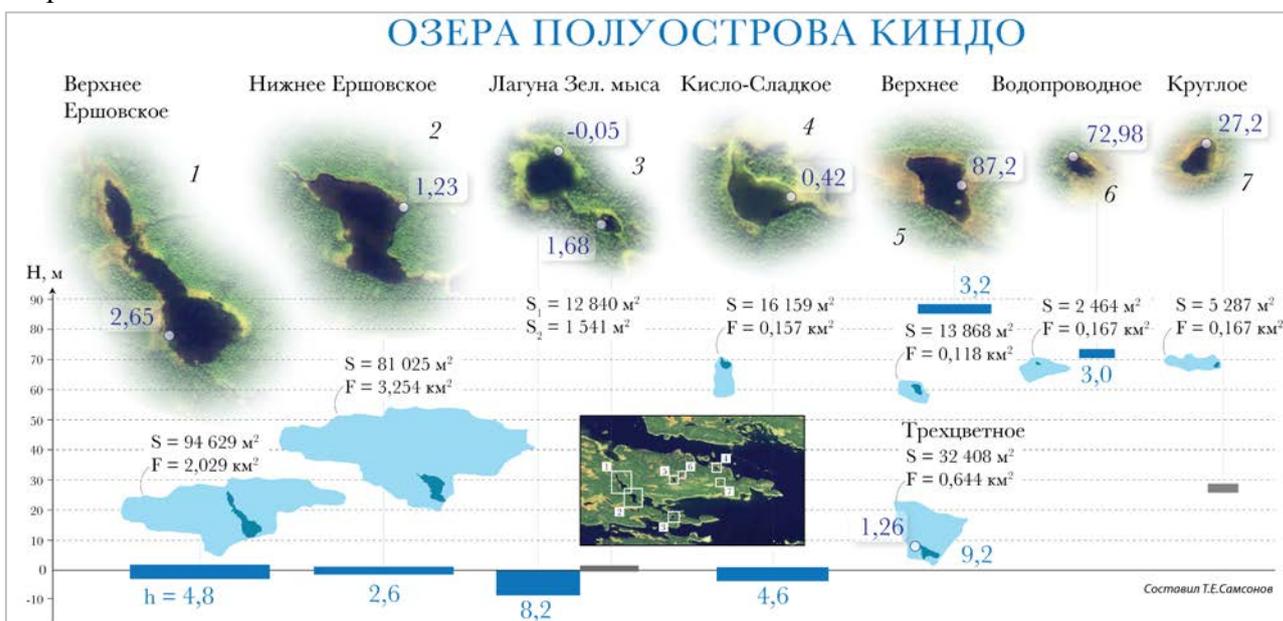


Рис. 2.1. Каталог озер полуострова Киндо (по данным экспедиции НСО 2014 г.)



Рис. 2.2. Работы на Кисло-сладком озере зимой 2015 г.



Рис. 2.3. Полевые работы на Водопроводном и Трехцветном озере в 2015 г.

**Лагуна Зеленого мыса** имеет абсолютную высоту  $-0,05$  м - отметка уровня льда и  $-0,4$  м – отметка уровня воды. Это свидетельствует о перемешивании воды озера с водой залива. Площадь лагуны составляет  $12840$  м<sup>2</sup> – это самое маленькое озеро из изученных. Соотношение площади озера к площади бассейна составляет  $15,1$ . Лагуна имеет правильную округлую форму с шириной и длиной по  $120$  м. У него почти такие же размеры, как и у Кисло-сладкого озера, однако более округлая форма. Образовалось оно благодаря отчленению от Кислой губы лагуны, вдававшейся в глубь полуострова. В настоящее время от залива его отделяет каменная перемычка, через которую во время полной воды приливов морская вода поступает в озеро, а в остальное время — вытекает из него. Гидрологический и гидрохимический режим озера на Зеленом Мысу формируется пока в условиях более интенсивного водообмена с Кандалакшским заливом при гораздо более слабом распресняющем влиянии вод суши. Средняя глубина озера около  $2$  м, а максимальная - около  $6$  м. Амплитуда приливных колебаний около  $10$  см.

**Нижнее Ершовское озеро** имеет абсолютную отметку уровня льда  $1,2$  м, а уровня воды –  $0,8$  м. Площадь бассейна составляет  $1225349$  м<sup>2</sup>, а озера –  $81025$  м<sup>2</sup>, отношение данных величин равняется  $21,4$ . Длина озера -  $500$  м, а ширина –  $245$  м. Оз. Нижнее Ершовское - нижнее из двух озер, образовавшихся на месте древнего пролива, оно соединено протокой с пресным Верхним Ершовским озером, из которого получает пресную воду. Максимальная глубина водоема -  $2.5$  м. Большая часть водной толщи почти пресная, но донные углубления, начиная с  $2$  м, заполнены солоноватой водой  $5.9-7.7\%$ . Из Н. Ершовского в море вытекает пресный ручей, морская вода в озеро не поступает [8].

**Верхнее Ершовское озеро** является вторым по площади, площадь озера составляет  $94629$  м<sup>2</sup>, а площадь бассейна -  $2029127$  м<sup>2</sup>. Соотношение данных площадей равняется  $21,4$ . Длина

озера - 790 м, а ширина – 260 м. Абсолютная отметка уровня льда составляет 2,6 м, а поверхности озера – 2,5 м.

**Верхнее озеро** относительно удалено от залива и имеет абсолютную отметку льда 87,2 м, поверхности озера – 86,8 м. Площадь озера составляет 15469 м<sup>2</sup>, а бассейна – 117809 м<sup>2</sup>, отношение площади бассейна к площади озера 7,6, эта величина минимальна у данного озера. Длина озера 200 метров, а ширина 130 метров.

**Озеро Водопроводное** расположено на высоте 72 м над уровнем моря. Его площадь составляет 2464 м<sup>2</sup>, площадь бассейна – 166687 м<sup>2</sup>. Площадь бассейна в 67,6 раза больше площади озера, это максимальное значение из всех изученных озер. Ширина озера 40 метров, а длина 80.

**Озеро Трехцветное** имеет абсолютную отметку льда 1,25 м, а поверхности воды – 0,85м. У данного водного объекта максимальная площадь водосбора – 643809 м<sup>2</sup>. Площадь самого озера невелика – 32407 м<sup>2</sup>. Соотношение площади бассейна к площади озера 19,9. Длина озера 340 метров, а ширина 135 метров. Оз. Трехцветное в Пеккелинской губе имеет глубину 6,5 м и обладает четкой вертикальной стратификацией. На поверхности до глубины 1 м вода практически пресная, и, начиная с глубины 1.5 м, соленость возрастает до 22‰.

Все водоемы имеют близкие морфометрические характеристики: горизонтальные размеры 100 – 200 м, около половины площади с глубинами до 1 м, локальную котловину глубиной 4 – 8 м, глубину порога менее 1 м.



**Рис. 2.4.** Полевые исследования в лагуне у Зеленого мыса

### 3 СИНОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕРИОД ЭКСПЕДИЦИИ

В период проведения зимней экспедиции НСО-2015 на территории Беломорской Биологической Станции (ББС) МГУ проводились измерения основных метеорологических параметров в двух точках. На пирсе биологической станции была установлена автоматическая метеорологическая станция (АМС) “Airmar 150WX”, непрерывно записывающая значения температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности воздуха, а также скорости и направления ветра. Полученные данные были осреднены по пятиминутным периодам. Второй точкой наблюдений являлась гора Ругозерская, расположенная к югу от биостанции. В этой точке была установлена автоматическая метеорологическая станция “Davis Vantage Pro”, которая записывала те же метеорологические величины, что и АМС на пирсе биостанции. Измерения на г. Ругозерской проводились с дискретностью в 5 минут. Объем памяти АМС позволял записывать данные наблюдений на протяжении суток, однако, по истечении свободного места на накопителе, существовала угроза потери части данных. Поэтому каждый день дежурный наблюдатель переписывал данные наблюдений с АМС на компьютер. Имея ряды данных, полученных с помощью АМС, участники экспедиции с кафедры метеорологии и климатологии могли приступить к анализу хода основных метеорологических параметров и связать динамику характеристик атмосферы с основными синоптическими процессами.



**Рис. 3.1.** Автоматическая метеорологическая станция Davis Vantage Pro, установленная на г. Ругозерской

Имея доступ к интернету, участники экспедиции имели возможность в режиме реального времени загружать фактические и прогностические синоптические карты. В ходе экспедиции были использованы приземные синоптические карты с фронтальным анализом, предоставленные ФГБУ «Мурманское УГМС». Так же использовались прогностические карты температуры воздуха, приземного ветра, облачности и осадков, построенные по результатам просчета региональной негидростатической модели «COSMO» Гидрометцентра РФ.

Во время прибытия экспедиции на территорию биологической станции Кольский полуостров находился под влиянием обширного углубляющегося циклона с центром над Исландией. Этот циклон 28 января имел давление 970 гПа в центре, а на следующий день – уже 960 гПа. Такая интенсивная регенерация циклона объясняется затоком холодного арктического воздуха с берегов Гренландии в тыловую часть циклона. Утром 29 января приборами, установленными на исследуемой территории, было зафиксировано резкое

падение температуры воздуха на 5,5 градусов по Цельсию. Так же отмечался рост скорости ветра до 4 м/с, с порывами до 10 м/с. Такой ход метеорологических величин можно связать с прохождением над территорией биологической станции холодного фронта.

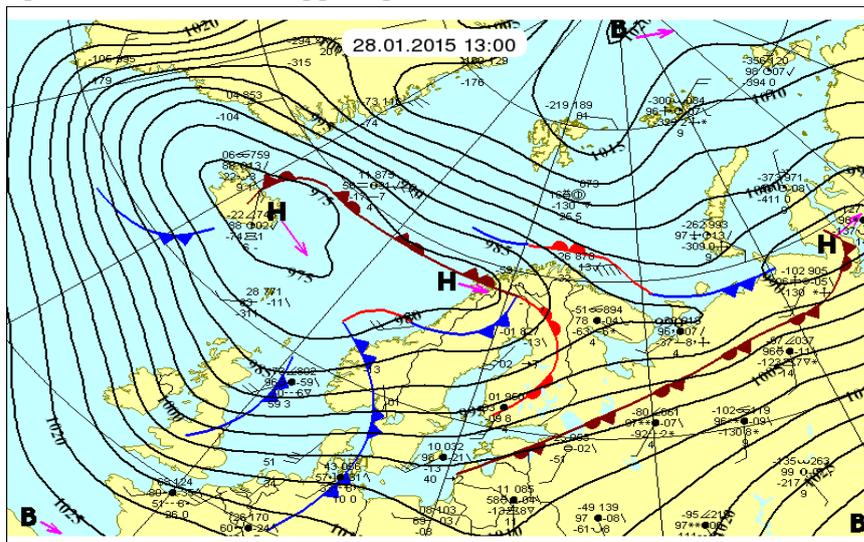


Рис. 3.2. Приземная синоптическая карта за 28 января, 13:00 МСК, Мурманское УГМС.



Рис. 3.3. Ход температуры воздух за период наблюдений, AMC Davis Vantage Pro

Тридцатого января вышеупомянутый циклон сместился к юго-востоку, проходя центром через Скандинавию. Кольский полуостров оказался на восточной периферии области низкого давления. Согласно синоптической карте Мурманского УГМС, над Кандалакшским заливом расположился теплый фронт, однако, на биологической станции не наблюдался выраженный рост температуры воздуха. На следующий день, доминирующий над северной частью Европы циклон начал смещаться к юго-западу, а территория биостанции оказалась на оси барической ложбины, отрога вышеупомянутого циклона. По необъяснимым причинам метеостанция, установленная на горе Ругозерской, прекратила запись данных 31 января около 11 часов утра. Нормальный режим работы метеостанции был автоматически восстановлен в 0 часов следующего дня.

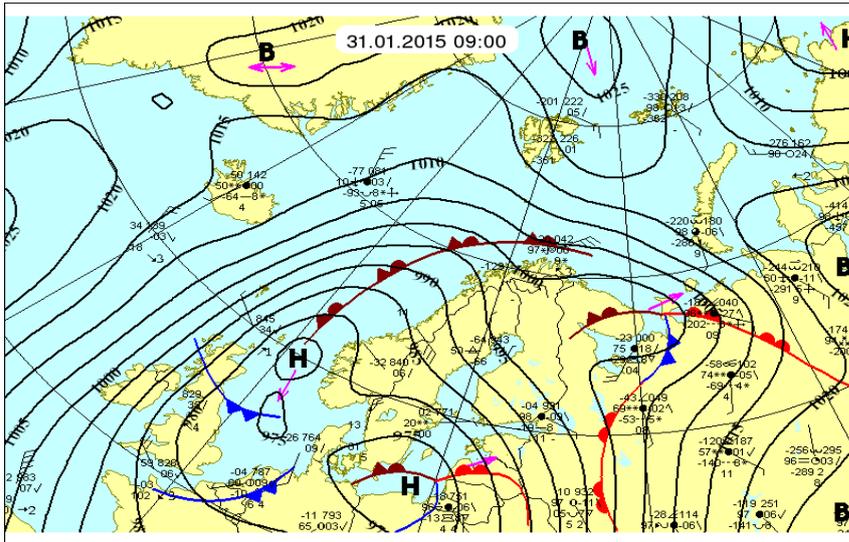


Рис. 3.4. Приземная синоптическая карта за 31 января, 9:00 МСК, Мурманское УГМС

В первый день февраля Кольский полуостров оказался между зонами влияния двух атмосферных образований – циклона, определявшим погоду на протяжении январской части экспедиции, и антициклоном, надвигавшимся с севера. Образование большого градиента давления вызвало усиление скорости ветра до 4,5 м/с с порывами до 11 м/с. Южнее Кандалакшского залива отмечено нахождение атмосферного фронта, но восточные потоки блокировали адвекцию теплого воздуха вглубь полуострова.

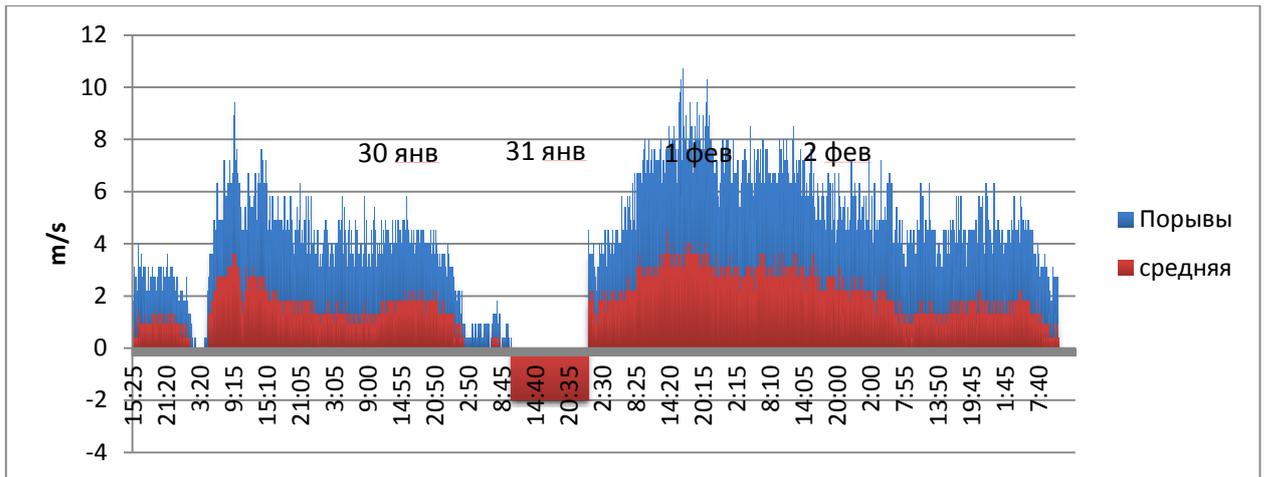


Рис. 3.5. Ход скорости ветра за период экспедиции, AMC Davis Vantage Pro

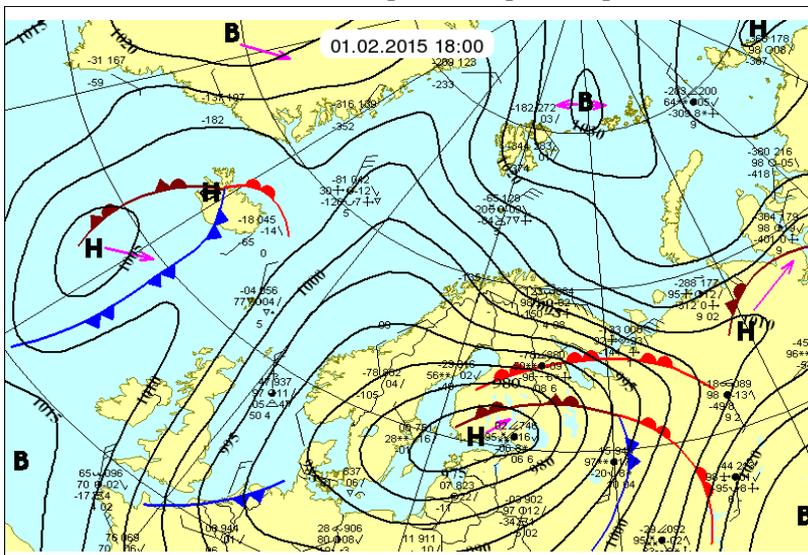


Рис. 3.6. Приземная синоптическая карта за 1 февраля, 18:00 МСК, Мурманское УГМС.

В последующие дни отмечалось отступление циклона на юго-запад и перемещение антициклона на юго-восток. Эти перемещения элементов циркуляции атмосферы выражены в росте давления в пунктах наблюдения с помощью АМС. Четвертого февраля территория биостанции уже находилась на западной периферии антициклона с центром над Ямалом. Падение температуры до  $-18$  градусов Цельсия объясняется адвекцией холодного воздуха с Карского моря, а так же процессом радиационного выхолаживания, так как в этот день впервые за весь период экспедиции отмечались прояснения.

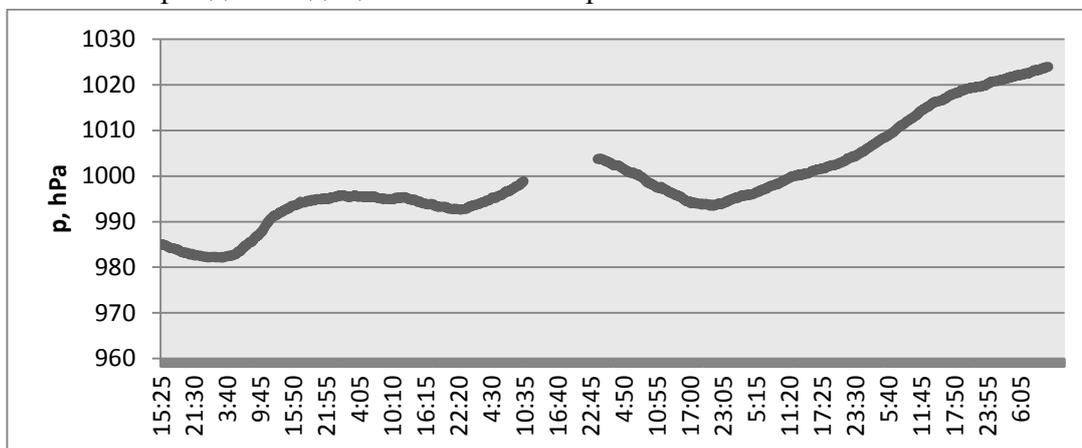


Рис. 3.7. Ход атмосферного давления за период экспедиции, АМС Davis Vantage Pro

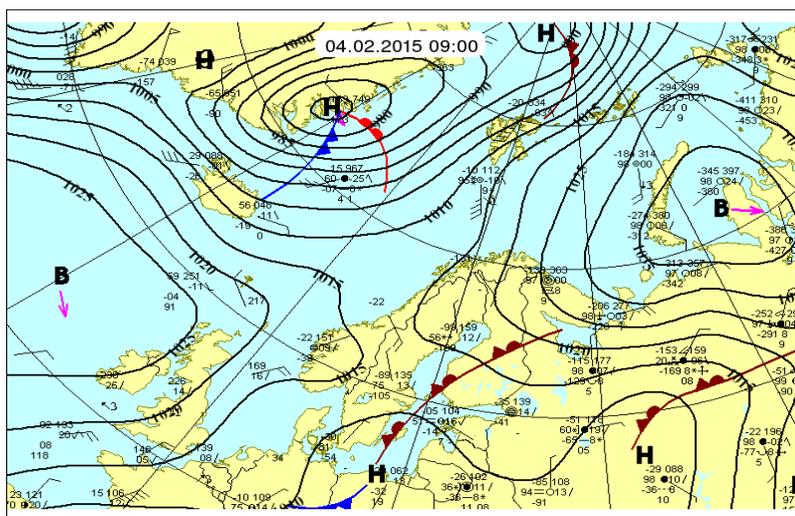
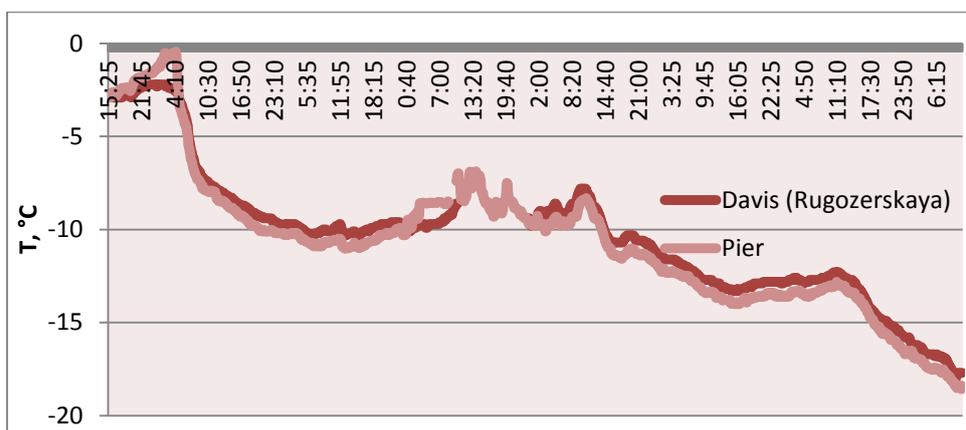


Рис. 3.8. Приземная синоптическая карта за 4 февраля, 9:00 МСК, Мурманское УГМС

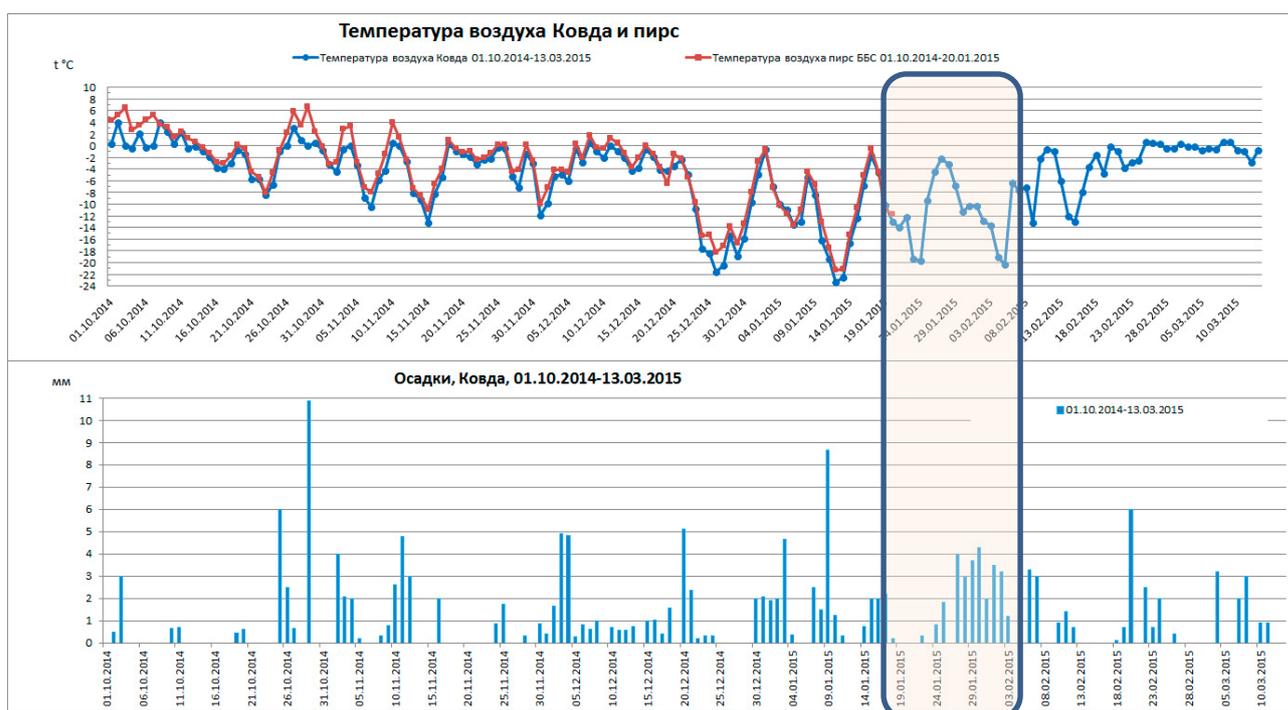
Итак, проанализировав данные наблюдений с помощью автоматических метеостанций и синоптические карты, можно выделить два основных синоптических периода: влияние циклона, пришедшего с северо-запада, и антициклона с северо-востока. Влияние циклона выразилось в западных и южных потоках воздуха, прохождении холодного атмосферного фронта, облачной погоде с интенсивными осадками и усилениями ветра. В период влияния антициклона преобладали восточные и северо-восточные потоки воздуха с адвекцией холодного воздуха. Наблюдалась переменная облачность и ясная погода без осадков. На протяжении всего периода экспедиции температура воздуха имела тенденцию к понижению. Самая низкая температура была зафиксирована в последний день наблюдений ( $-18$  °С). Максимальная средняя за минуту скорость ветра была зафиксирована 1 февраля в 16:50 (4,5 м/с), с максимальной скоростью порывов ветра 10,7 м/с.



**Рис. 3.9.** Ход температуры воздуха за период экспедиции в двух точках наблюдений.

Сопоставив ряды данных, полученных с двух метеостанций, можно увидеть, что в целом ход температуры воздуха в обеих точках не имеет сильных различий, за исключением некоторых флуктуаций этой величины, которые могли быть вызваны некоторыми локальными процессами.

Ниже представлен ход температуры воздуха и осадков по м/с Ковда и пирс МГУ за период с 1 октября 2014 г. по 15 марта 2015 г. (рис. 3.10). По температуре воздуха видна полная синхронность в колебаниях данной характеристики, за исключением незначительного превышения температуры воздуха в районе ББС.



**Рис. 3.10.** График колебаний температуры воздуха и осадков по м/с Ковда и на пирсе МГУ за 1.10.2014-15.03.2015 (выделен период проведения экспедиции)

#### 4 ПОТОКИ РАДИАЦИИ НА ПОЛУОСТРОВЕ КИНДО

Солнечная радиация является главным источником энергии на Земле. В полярных широтах в зимнее время радиационный баланс формируется в условиях низкой высоты солнца и наличии снежного покрова, а в течение экспедиции еще и наличии низкой сплошной слоисто-кучевой облачности. Также был поставлен эксперимент для определения пропускания УФ-радиации лесом с разной закрытостью.

**Приборы:** Компоненты радиационного баланса измерялись датчиками фирмы Kipp&Zonen. Суммарная и отраженная коротковолновая радиация - датчиком SMP-21, нисходящая и восходящая длинноволновая радиация - датчиком CGR-3 (рис. 4.1). Подробные характеристики приборов приведены в таблице 4.1.



Рис. 4.1. Датчики Kipp&Zonen

Таблица 4.1. Характеристики датчиков Kipp&Zonen.

Измеряемый параметр	SMP-21	CGR-3
Спектральный интервал	300 – 2800нм	4,5 – 42 мкм
Диапазон измерения	0 – 4000 Вт/м <sup>2</sup>	–550 до + 550 Вт/м <sup>2</sup>
Стабильность	< 1% в год	< 1% в год
Погрешность	± 20 Вт/м <sup>2</sup> при 1000 Вт/м <sup>2</sup>	± 10 Вт/м <sup>2</sup>
Рабочая температура	от -40 <sup>0</sup> С до +80 <sup>0</sup> С	от -40 <sup>0</sup> С до +80 <sup>0</sup> С

В пиранометре SMP-21 генерируется сигнал в милливольтках, который пропорционален поступающей коротковолновой радиации ( $E_k$ ). Коэффициент между значением напряжения ( $V$ ) и излучением в Вт/м<sup>2</sup>, называется калибровочной константой ( $C$ ) (или чувствительностью прибора):

$$\text{Для SMP-21 } E_k = \frac{V}{C}.$$

При использовании пиргеометра CG необходимо помнить, что сигнал, который генерируется в CG представляет собой обмен дальним инфракрасным излучением между CG и объектом. Это означает, что будет генерироваться положительное выходное напряжение ( $V$ ), если объект теплее датчика и отрицательное, если объект холоднее датчика. Поэтому в

CGR-3 установлен термистор Pt-100. Расчет излучения в дальнем инфракрасном диапазоне ( $E_d$ ) ведется с учетом температуры пиргеометра.

Для CGR-3  $E_d = V/C + 5,67 * 10^{-8} T^4$  .

Термистор Pt-100 подключен по 4 проводной схеме— это наиболее точная схема, обеспечивает полное исключение влияния подводящих проводов. При этом по двум проводникам подается ток на датчик, два других, в которых ток равен нулю, используются для измерения напряжения на датчике. Недостаток прибора — увеличение объёма используемого материала, стоимости и габаритов сборки. Зависимость сопротивления термистора от температуры для CGR-3 приведена в табл. 4.2.

**Таблица 4.2.** Зависимость сопротивления термистора Pt-100 от температуры

Temperature [°C]	Resistance [Ω]	Temperature [°C]	Resistance [Ω]	Temperature [°C]	Resistance [Ω]
-30	88.22	0	100.00	30	111.67
-29	88.62	1	100.39	31	112.06
-28	89.01	2	100.78	32	112.45
-27	89.40	3	101.17	33	112.83
-26	89.80	4	101.56	34	113.22
-25	90.19	5	101.95	35	113.61
-24	90.59	6	102.34	36	113.99
-23	90.98	7	102.73	37	114.38
-22	91.37	8	103.12	38	114.77
-21	91.77	9	103.51	39	115.15
-20	92.16	10	103.90	40	115.54
-19	92.55	11	104.29	41	115.93
-18	92.95	12	104.68	42	116.31
-17	93.34	13	105.07	43	116.70
-16	93.73	14	105.46	44	117.08
-15	94.12	15	105.85	45	117.47
-14	94.52	16	106.24	46	117.85
-13	94.91	17	106.63	47	118.24
-12	95.30	18	107.02	48	118.62
-11	95.69	19	107.40	49	119.01
-10	96.09	20	107.79	50	119.40
-9	96.48	21	108.18	51	119.78
-8	96.87	22	108.57	52	120.16
-7	97.26	23	108.96	53	120.55
-6	97.65	24	109.35	54	120.93
-5	98.04	25	109.73	55	121.32
-4	98.44	26	110.12	56	121.70
-3	98.83	27	110.51	57	122.09
-2	99.22	28	110.90	58	122.47
-1	99.61	29	111.28	59	122.86

Также производитель дает формулы перерасчета сопротивления в температуру. Для Pt-100 она выглядит следующим образом:

$$T = \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 - 4\beta \left(\frac{-R}{100} + 1\right)}}{2\beta}, \quad (4.1)$$

где  $\alpha = 3,9080 * 10^{-5}$ ,  $\beta = -5,8019 * 10^{-7}$ . Для термистора формула следующая

$$T = (\alpha + [\beta \ln R + \gamma (\ln R)^3])^{-1} - 273.15, \quad (4.2)$$

где  $\alpha = 1,0295 * 10^{-5}$ ,  $\beta = 2,391 * 10^{-4}$ ,  $\gamma = 1,568 * 10^{-7}$

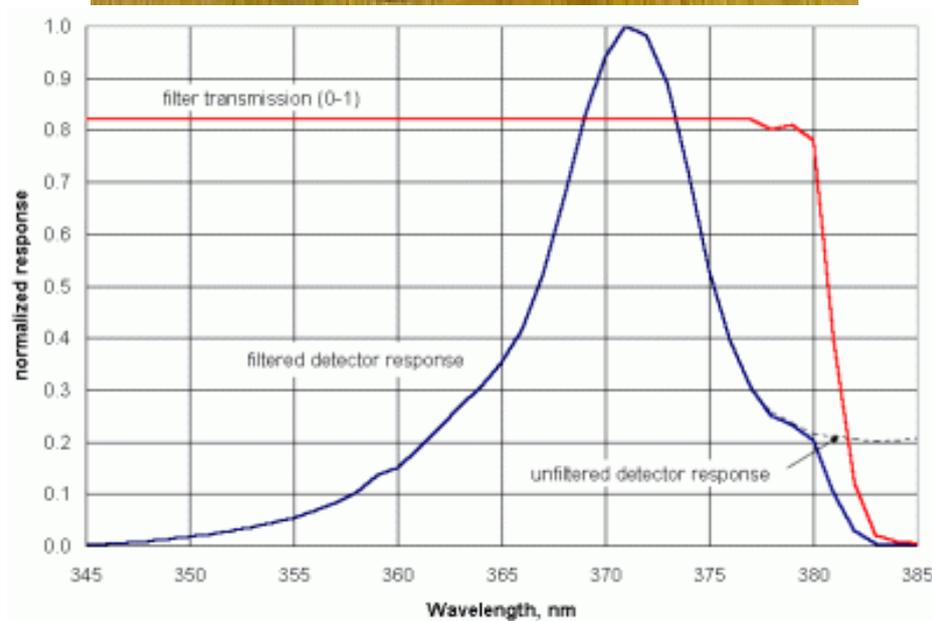
Каждый датчик был откалиброван в сентябре 2014 года.

Точные измерения УФ радиации проводить очень тяжело, в частности по причине необходимости температурной стабилизации. Тем не менее, были разработаны синие

светодиоды, позволяющие регистрировать УФ-А радиацию, а компактность и дешевизна этих датчиков прекрасно подходят для создания портативных и недорогих приборов. Уфиметр, разработанный GLOBE, (рис. 4.2) представляет собой портативный прибор для измерения ультрафиолетовой радиации на длине волны 372нм. Кривая чувствительности представлена на рис. 4.3.



**Рис. 4.2.** Уфиметр GLOBE и трубка для измерения прямой радиации.

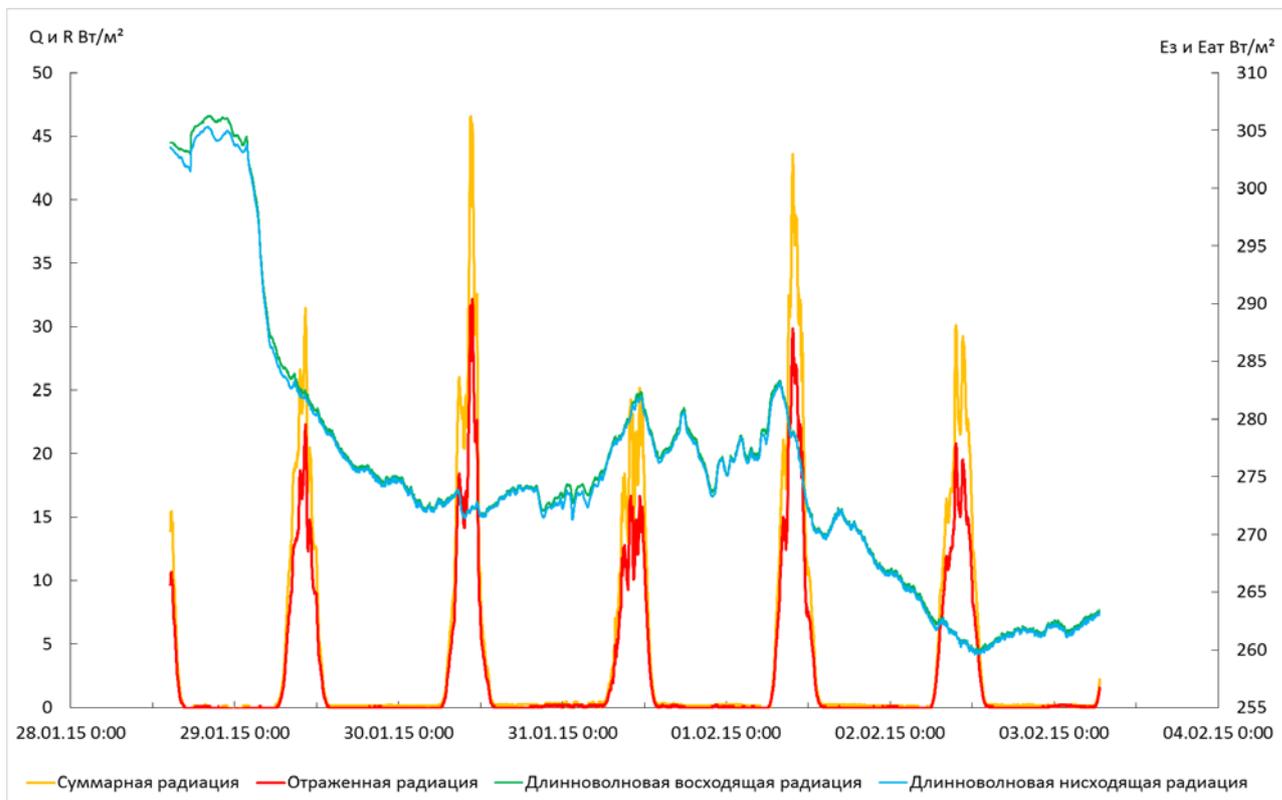


**Рис. 4.3.** Кривая чувствительности(синяя линия) LED-датчика уфиметра.

Для улучшения косинусных характеристик прибора LED-датчик покрыт диском молочного цвета. Использование светодиода решает только одну проблему – дороговизну приборов, но он также подвержен температурным погрешностям. Однако, так как этот прибор портативный, экспедиционный, измерения с помощью него проводятся в течение нескольких минут, поэтому эта проблема не столь остра, как для стационарных радиометров. В случае необходимости в приборе имеется датчик температуры.

Данный прибор был откалиброван в июне 2014 года по прибору YES-UVA.

**Результаты.** На рис. 4.4 представлен ход компонент радиационного баланса за время экспедиции с 28 января по 3 февраля 2015 года. Так как ночью коротковолновой радиации нет, а прибор показывал слабоотрицательные значения, было рассчитано место нуля как среднее за первый час измерений каждого дня. В среднем поправка на место нуля давала 2 Вт/м<sup>2</sup> для суммарной радиации и 2,5 Вт/м<sup>2</sup> для отраженной.



**Рис. 4.4.** Ход компонент радиационного баланса за время экспедиции

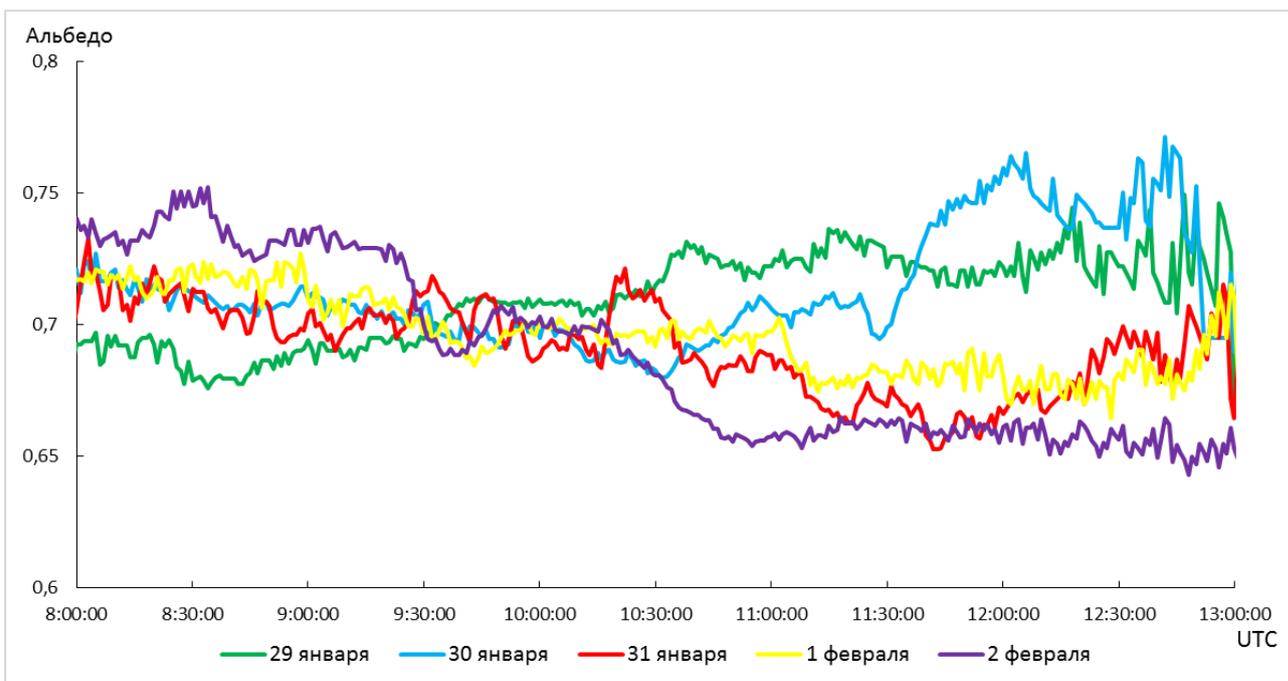
Максимальное количество приходящей коротковолновой радиации составило 46,5 Вт/м<sup>2</sup> 30 января в 10:33 UTC. В целом потоки не превышали 40 Вт/м<sup>2</sup>. Потоки длинноволновой радиации в целом совпадают, а резкое уменьшение соответствует прохождению холодного фронта, уменьшению температуры как поверхности, так и воздуха. На рис. 4.5 представлен ход альбедо. В среднем альбедо морской поверхности, закрытой льдом и снегом, составило 0,7.

Также 31 января была проведена альбедосъёмка в окрестностях ББС с помощью уфиметра GLOBE. Всего было проведено 8 измерений в разных точках горы Ругозёрская, необходимым условием для измерений было достаточно открытое место. Точки измерений показаны на рис. 4.6.

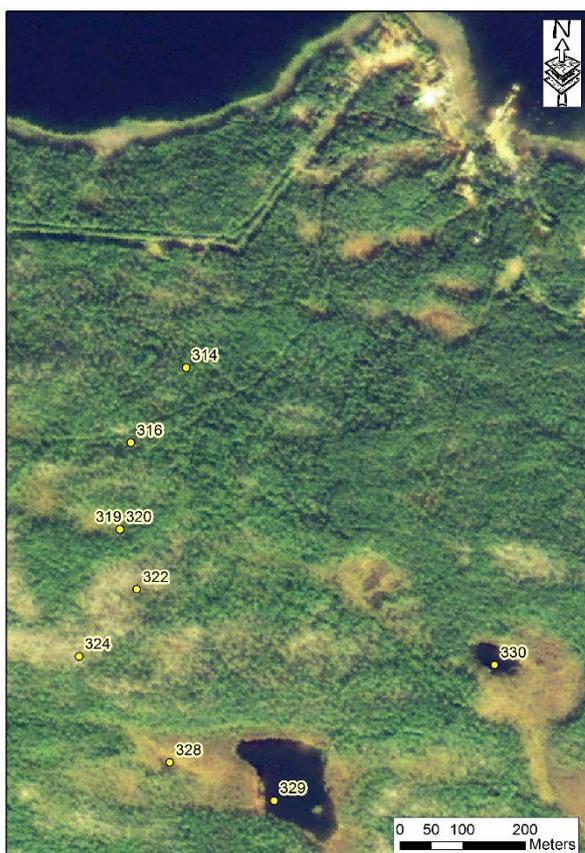
Отмечено, что в среднем альбедо снега в УФ диапазоне составляет  $0,86 \pm 0,01$ . Модельные расчеты показывают (модель TUV), что при длине волны 380 нм альбедо снега составляет 0,81.

Радиационный баланс поверхности - основная энергетическая характеристика поверхности. Вычисляется он как разность нисходящей радиации и восходящей.

$$R = Q + E_a - R - E_3 \quad (4.3)$$

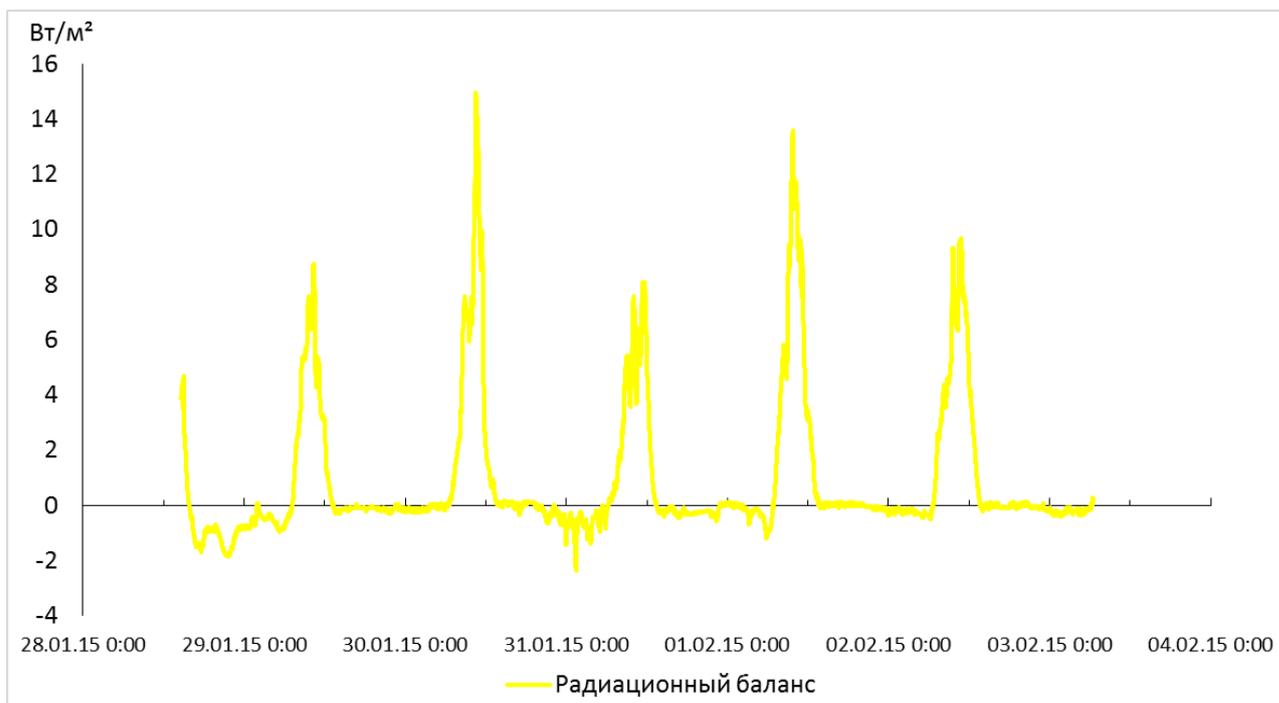


**Рис. 4.5.** Альbedo морской поверхности



Положительный радиационный баланс свидетельствует о запасе энергии, которая может тратиться на таяние снега. В среднем радиационный баланс составил  $0,9 \text{ Вт/м}^2$ , что отражает условия сплошной облачности в течение всего периода экспедиции. Ход радиационного баланса показан на рис. 4.7.

**Рис. 4.6.** Точки альбедосъемки



**Рис. 4.7.** Радиационный баланс поверхности

Был проведен эксперимент по определению пропускания УФ-радиации лесом с разной закрытостью.

В качестве площадки была выбрана поляна, вокруг которой было найдено три различных «типа» леса: с крупными соснами (лес 1), березняк (лес 2) и лес с небольшими соснами (лес 3). Пропускание определялось как отношение потока радиации под кронами деревьев и потока радиации на поляне. Закрытость поляны составляла менее 10%.

Закрытость леса определялоаь следующим образом:

- 1) По снятому видео для каждого леса был вырезан набор фотографий преимущественно около зенита (по 15 фотографий для каждого «типа» леса).
- 2) Фотографии были переведены в черно-белый вариант.
- 3) Подсчитано отношение черных пикселей к общему числу пикселей.
- 4) Среднее из значений отношения были приняты как закрытость.

На рис. 4.8 представлены фотографии каждого «типа» леса в зените, коэффициент пропускания и закрытости.



а)



**Рис 4.8.** Пропускание и закрытость разных «типов» леса:  
а) крупные сосны, б) березняк, в) небольшие сосны.

Из рис. 4.8 видно, что существуют большие различия в пропускании УФ-радиации даже на небольшом участке леса.

## 5 ТУРБУЛЕНТНЫЕ ПОТОКИ ТЕПЛА В ПРОЛИВЕ БОЛЬШАЯ САЛМА

Для исследования турбулентного обмена внутри устойчиво стратифицированного слоя, образовавшегося над поверхностью Ругозерской губы и влияния незамерзающей полыньи на появление турбулентных движений, в течение экспедиции проводились измерения акустическими анемометрами фирмы GILL. С помощью анемометров измерялись три компоненты скорости ветра  $u$ ,  $v$  и  $w$ , и температура с частотой 20 Гц (т.е. в секунду производилось 20 измерений метеовеличин).

Для расчета турбулентных потоков явного тепла на основе этих данных был использован метод турбулентных пульсаций. Согласно этому методу, значение температуры и скорости ветра можно представить как сумму средних значений и турбулентных пульсаций:  $s = \bar{s} + s'$ , где  $s$  – наблюдаемое в данный момент значение параметра,  $\bar{s}$  – его среднее значение за некоторый период,  $s'$  – турбулентная пульсация. Тогда пульсация в данный момент времени выражается как:  $s' = s - \bar{s}$ .

Тогда турбулентный поток явного тепла представляется следующим образом:

$H = \rho C_p \overline{T'w'}$ , где  $\rho$  – плотность воздуха,  $C_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении,  $\overline{T'w'}$  – осредненное за некоторый период произведение пульсаций температуры и вертикальной скорости ветра.

Немаловажным был выбор периода осреднения. Мелкомасштабные турбулентные пульсации накладываются на колебания более крупного временного масштаба и суточный ход. Был выбран период осреднения в 20 минут; на данном временном масштабе осредняется большая часть турбулентных колебаний, но в то же время не размывается структура волн более крупных колебаний.

В результате обработки данных анемометра, установленного на пирсе, были построены графики суточного хода турбулентных потоков явного тепла, построенные в Excel'е. Данную оценку следует считать достаточно грубой, поскольку при осреднении отсутствовала возможность исключить наиболее выбивающиеся из общего тренда значения. Скорее всего, отрицательные значения потоков занижены (т. е. преувеличена интенсивность нисходящих потоков). Тем не менее, данные графики позволяют проследить основные тенденции изменения интенсивности турбулентных потоков.

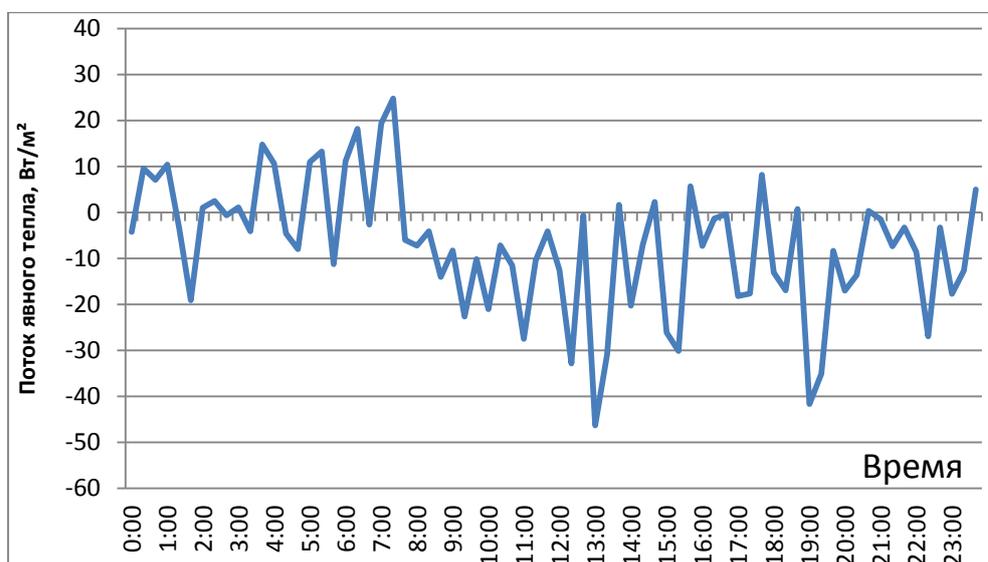
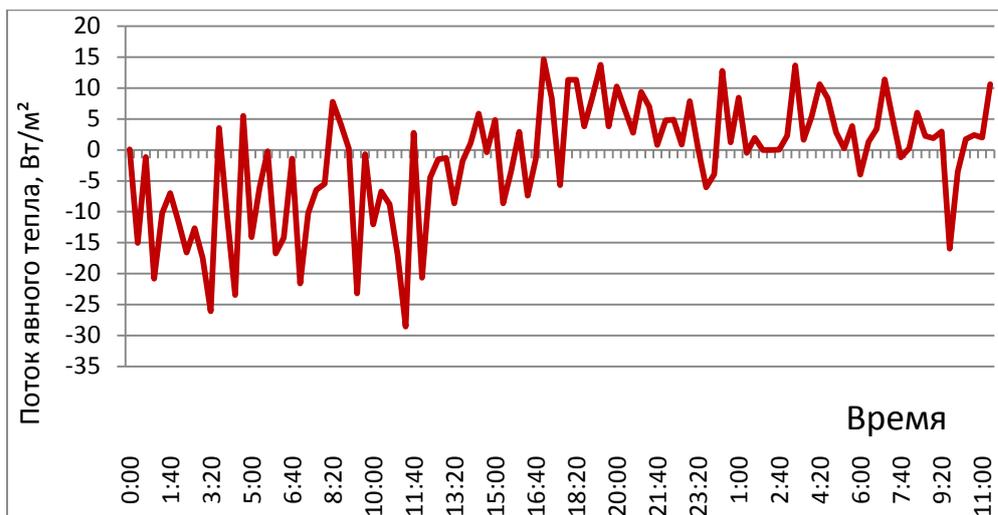


Рис. 5.1. Суточный ход турбулентного потока явного тепла 29 января 2015 г.

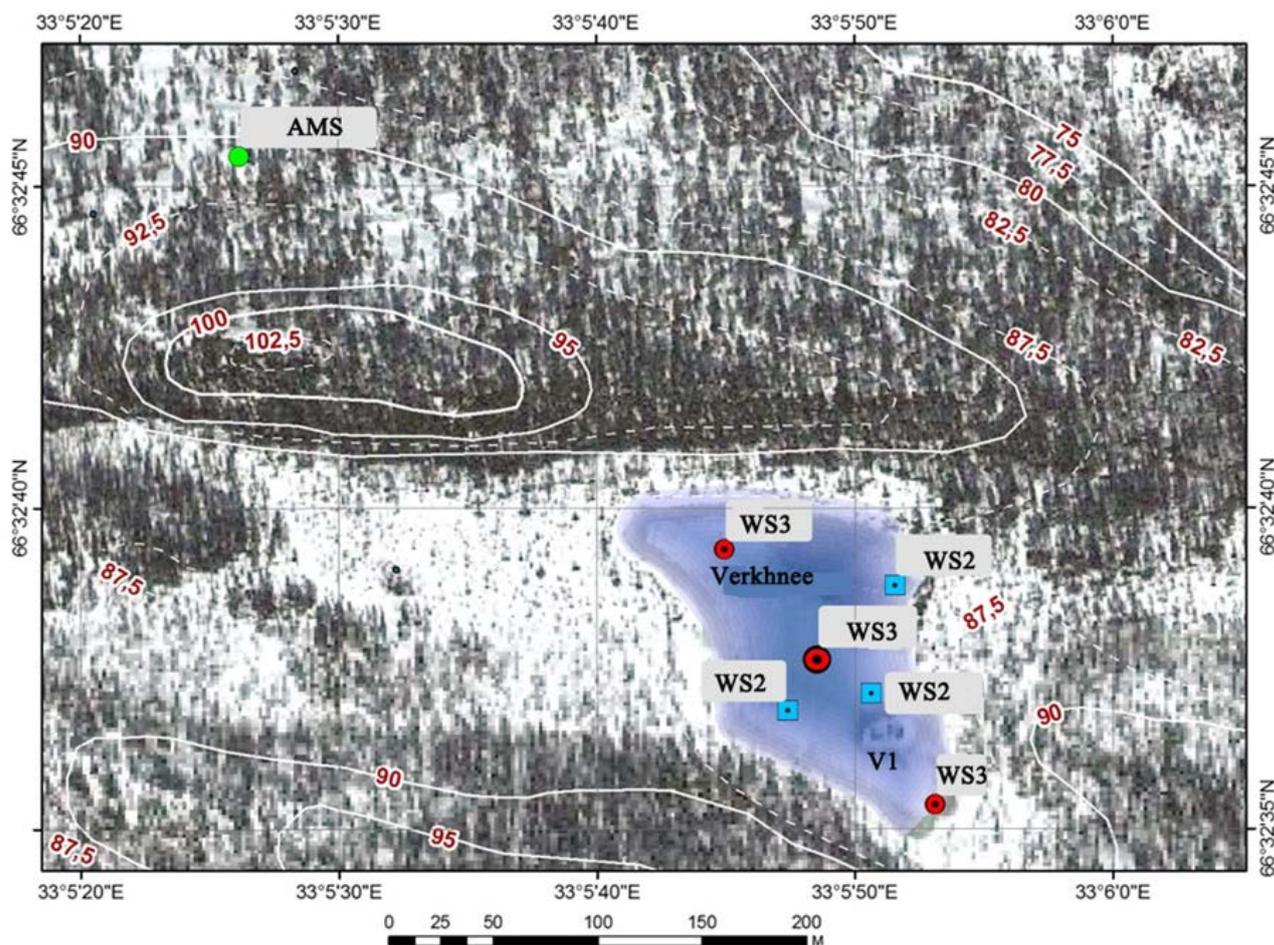


**Рис. 5.2.** Суточный ход турбулентного потока явного тепла 3-4 февраля.

Наличие слабых восходящих потоков в ночное время обусловлено влиянием незамерзающей полыньи, т. к. происходит теплообмен воды с воздухом, что и приводит к развитию слабых конвективных токов. Хорошо прослеживается прохождение холодного атмосферного фронта утром 29 января (рис. 5.1-5.2), с чем был связан рост устойчивости атмосферы. На фоне этого произошло уменьшение интенсивности турбулентных потоков. На рис. 2. можно заметить увеличение восходящих потоков в дневное время по сравнению с ночью, что связано прежде всего с действием радиационного фактора.

## 6 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯ ВЕТРА НА ОЗЕРЕ ВЕРХНЕЕ

На озере Верхнее было установлено три двухкомпонентных акустических анемометра, и четыре трехкомпонентных акустических анемометра Gill. Трехкомпонентные анемометры устанавливались на одну диагональ с северо-запада на юго-восток. На равном расстоянии от двух анемометров (далее северный и южный) была установлена градиентная мачта, состоящая из двух анемометров на 2 и 4 метрах. Двухкомпонентные анемометры были расположены на второй диагонали (с юго-запада на северо-восток). Расположение анемометров показано на рис. 6.1.



**Рис. 6.1.** Расположение анемометров на озере Верхнее. Трехкомпонентные анемометры – красные точки, двухкомпонентные анемометры – синие точки.

Трехкомпонентные анемометры производили измерения полного вектора ветра и температуры воздуха с частотой 20 Гц, а двухкомпонентные только горизонтальные компоненты вектора ветра с частотой 1 Гц.

Измерения трехкомпонентными анемометрами производились с 29 января по 3 февраля, а двухкомпонентными с 30 января по 3 февраля.

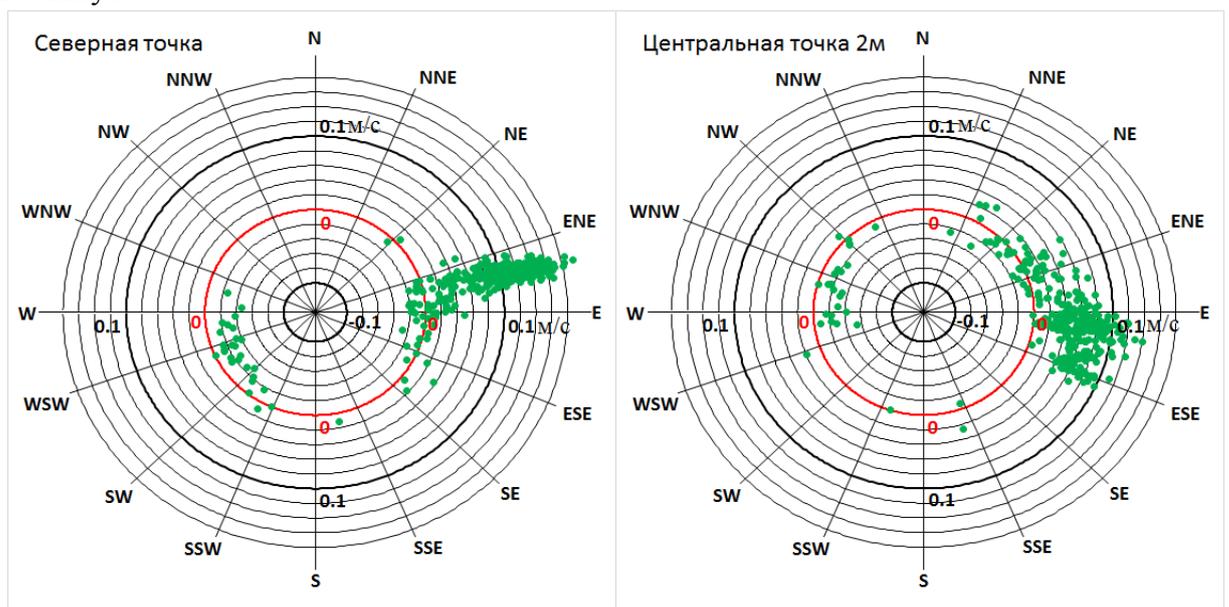
**Вертикальная скорость.** Стоит сразу заметить, что точность определения вертикальной скорости будет сильно зависеть качества установки анемометра, даже малое отклонение от вертикальности основной оси может привести к сильной ошибке в вертикальной скорости, сопоставимой с порядком самой скорости. В табл. 6.1 приведен модуль горизонтальной скорости при которой ошибка в определении вертикальной скорости составит 0,05 и 0,1 м/с при углах наклона анемометра 10,5,3,2,1 градуса, соответственно.

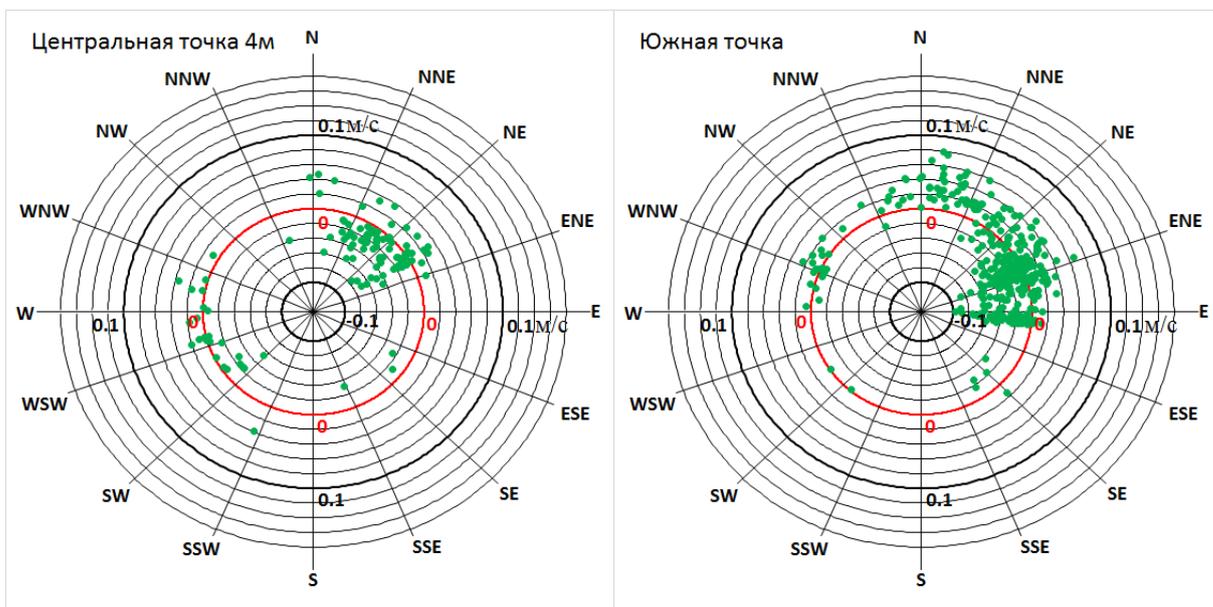
**Таблица 6.1** - Значения горизонтальной скорости ветра, при которых ошибка вертикальной скорости достигает заданных значений (по горизонтали), при разных углах наклона анемометра (по вертикали)

Ошибка в вертикальной скорости	0,05 м/с	0,1 м/с
10°	0,3	0,6
5°	0,6	0,1
3°	0,95	1,9
2°	1,4	2,9
1°	2,9	5,2

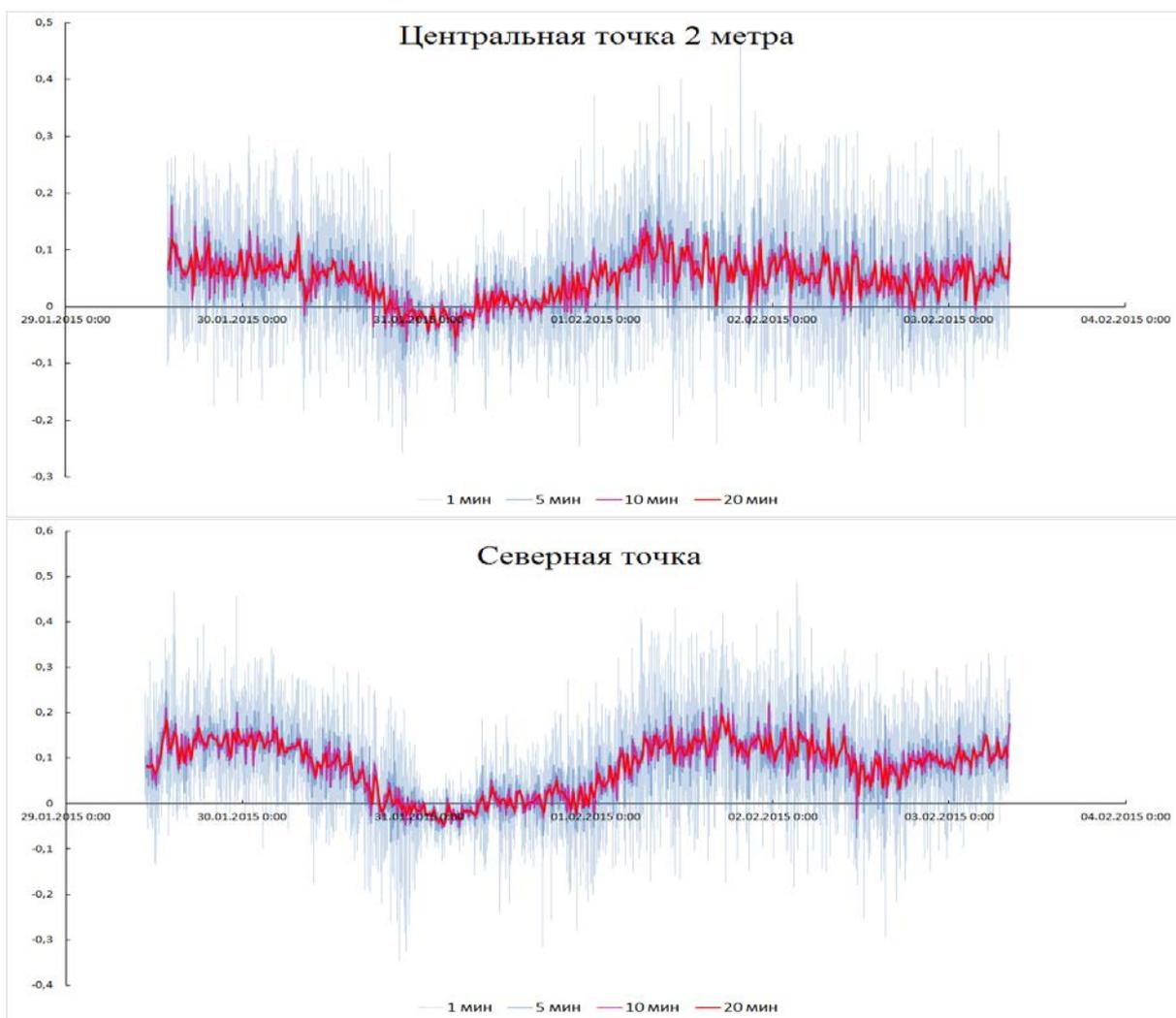
Значения в табл. 6.1 означают, что, например, при скорости ветра в горизонтальной плоскости в 1,9 м/с при неправильной установке анемометра на 3 градуса ошибка в вертикальной скорости будет составлять 0,1 м/с, а как известно порядок вертикальных движений вне зон с активной конвекцией составляют первые сантиметры-дециметры в секунду. Методически это означает, что для достоверной оценки вертикальных токов необходимо жестко устанавливать анемометры и постоянно контролировать вертикальность оси прибора.

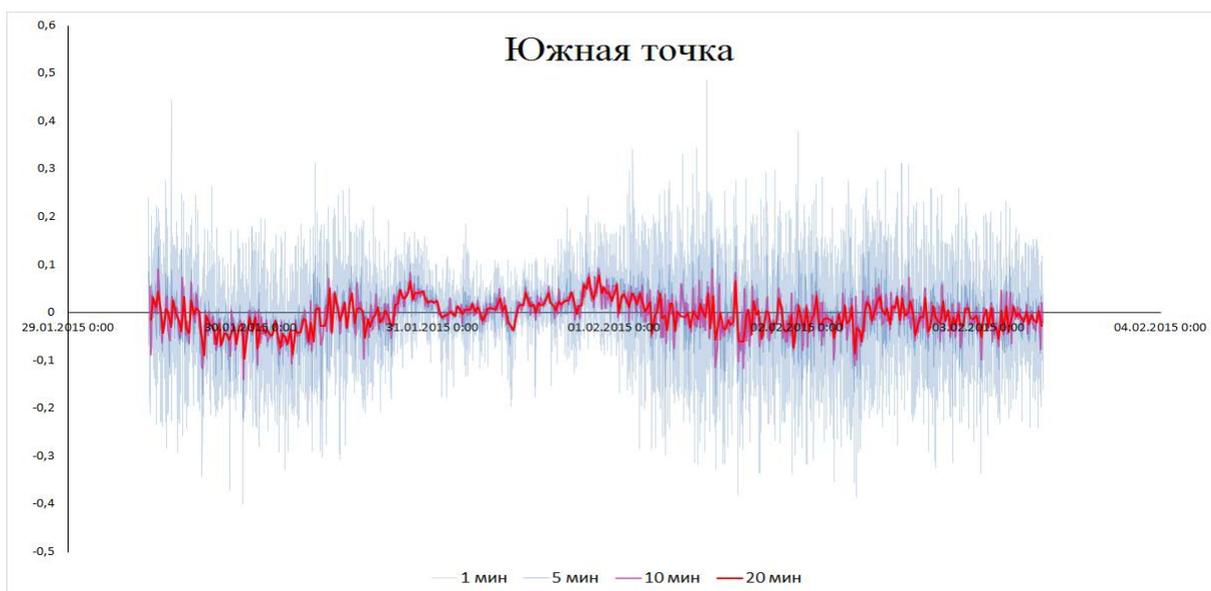
На рис. 6.2 показано распределение вертикальной скорости, осредненной за 20 минут в зависимости от направления потока. Из рис. 6.2 видно, что на северной точке при западных ветрах происходит восходящее движение воздуха, и наоборот, при восточных ветрах – нисходящее. Такое же движение происходит и на нижнем уровне градиентной мачты, однако на верхнем уровне при западных ветрах происходит наоборот нисходящие движения. На южной точке, из-за наличия леса южнее точки (рис. 6.1) происходит вынужденный подъем воздуха при северных ветрах со скоростями порядка 0,05 м/с, а при западных ветрах опускание воздуха. Все рассуждения о распределении вертикальной скорости сделаны в предположении строгой вертикальности осей приборов. Однако дивергенция потоков на градиентной мачте может означать неправильную установку верхнего анемометра. На рисунке 3 показан временной ход вертикальной компоненты скорости осредненная за 1,5, 10 и 20 минут.





**Рис. 6.2.** Значение вертикальной скорости в зависимости от направления ветра. Красный круг означает нулевую вертикальную скорость, внутри красного круга скорость отрицательная, вне – положительная

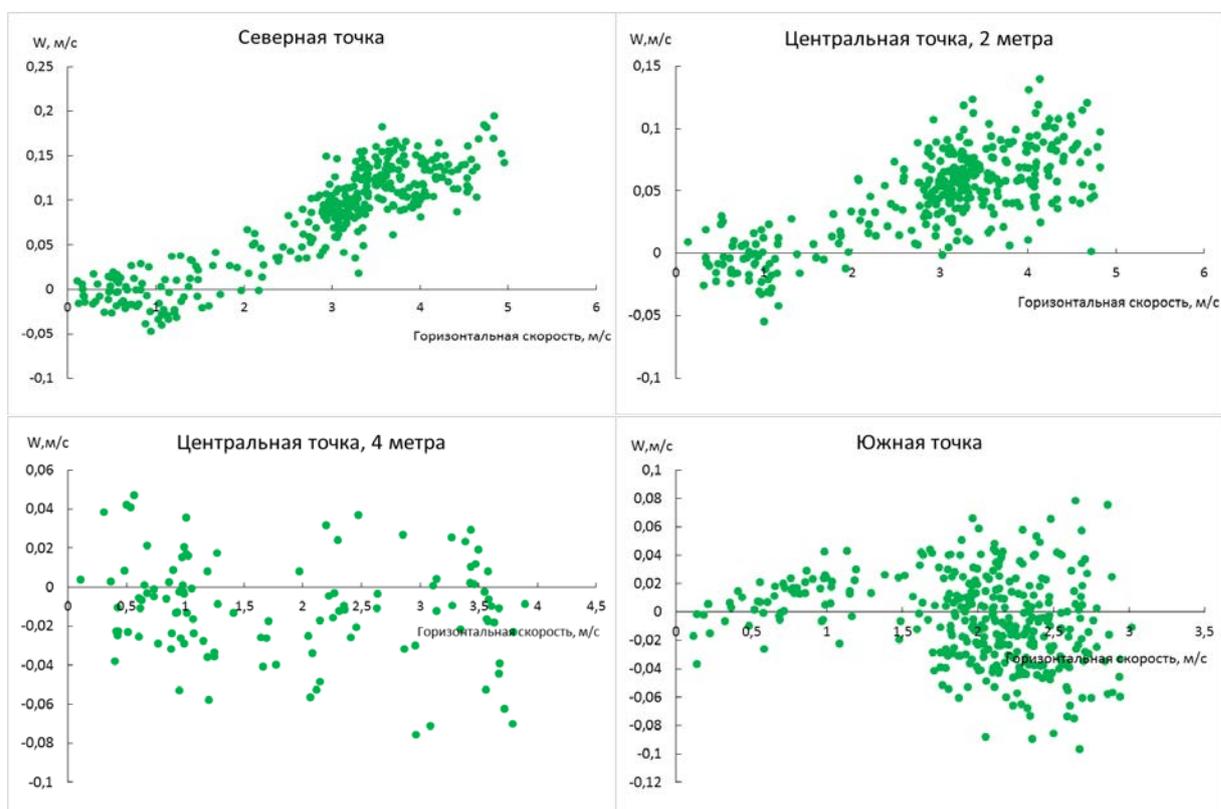




**Рис. 6.3.** Временной ход вертикальной компоненты скорости при разном осреднении

Сравнивая временной ход на северной точке и центральной, можно увидеть, что вертикальная скорость ведет себя одинаково, на этих точках. В то же время на южной точке в среднем вертикальные скорости около нуля и проследить какой-либо ход нельзя.

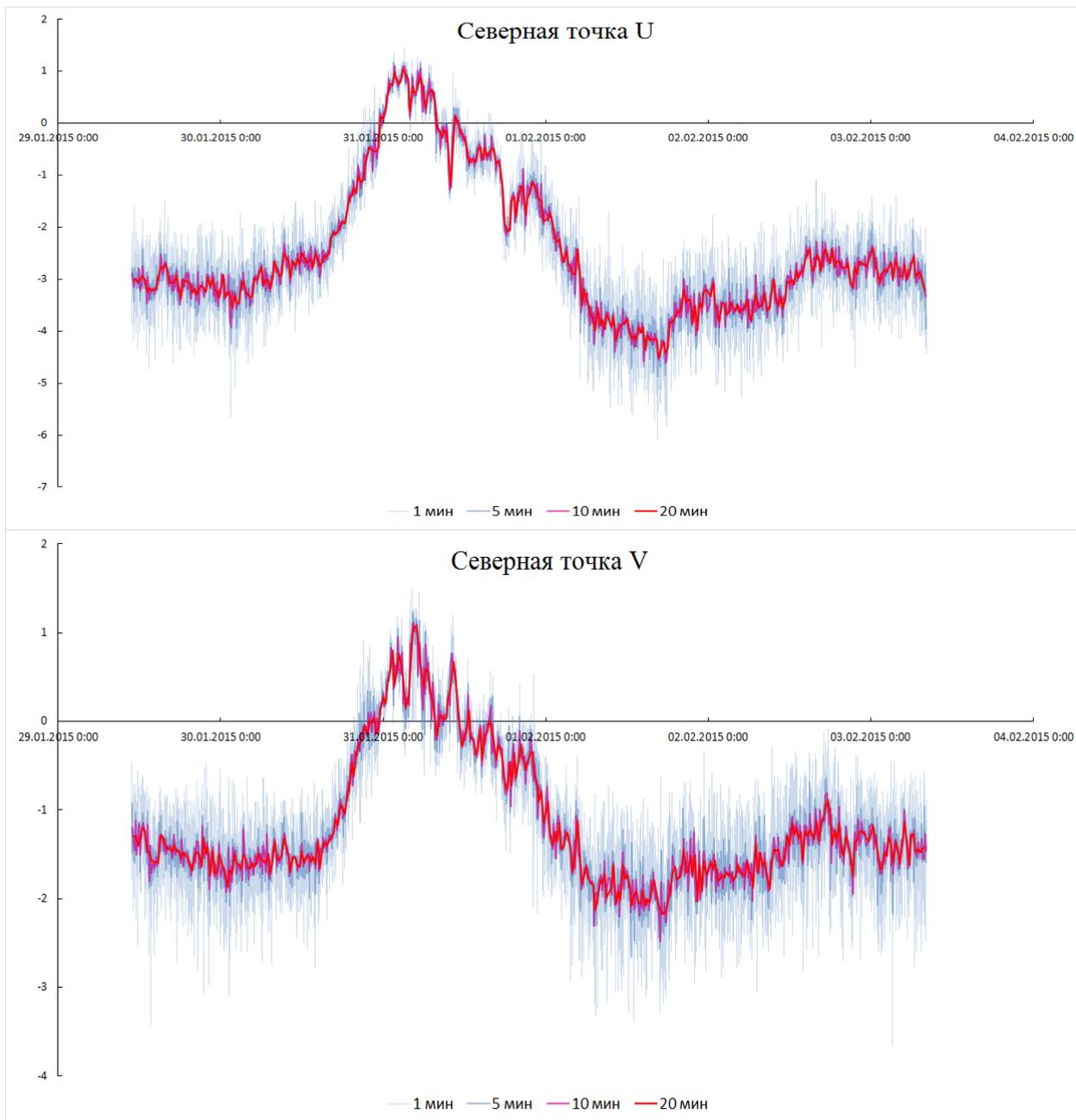
Теоритически существует зависимость вертикальной скорости от модуля горизонтальной скорости, чем больше горизонтальная скорость, тем больше и вертикальная скорость. На рис. 6.4 показана зависимость вертикальной скорости от горизонтальной, осредненные за 20 минут.



**Рис. 6.4.** Зависимость вертикальной скорости от модуля горизонтальной.

Из рис. 6.4 хорошо видно, что северная точка и центральная, 2 метра имеют одинаковую структуру ветра. На верхнем уровне градиентной мачты явно отсутствует какая либо связь вертикальной и горизонтальной скорости. А южная точка характеризуется достаточно сильными нисходящими токами при сильном ветре.

**Горизонтальная скорость.** Горизонтальная скорость также как и вертикальная имеет большую вариацию со временем и по пространству. Далее показан ход компонент горизонтальной скорости по пяти точкам на озере Верхнее.



**Рис. 6.5.** Ход компонент горизонтальной скорости на Северной точке.

Из рис. 6.5 видно, что на северной точке существует сильная связь между U и V компонентами скорости. Корреляция составляет 0,968.



**Рис. 6.6.** Ход компонент горизонтальной скорости на Центральной точке.

В отличие от северной точки, на южной, как можно судить по рис. 6.6, связи между компонентами нет. Корреляция  $-0,05$ .



Рис. 6.7. Работа на озере Верхнем

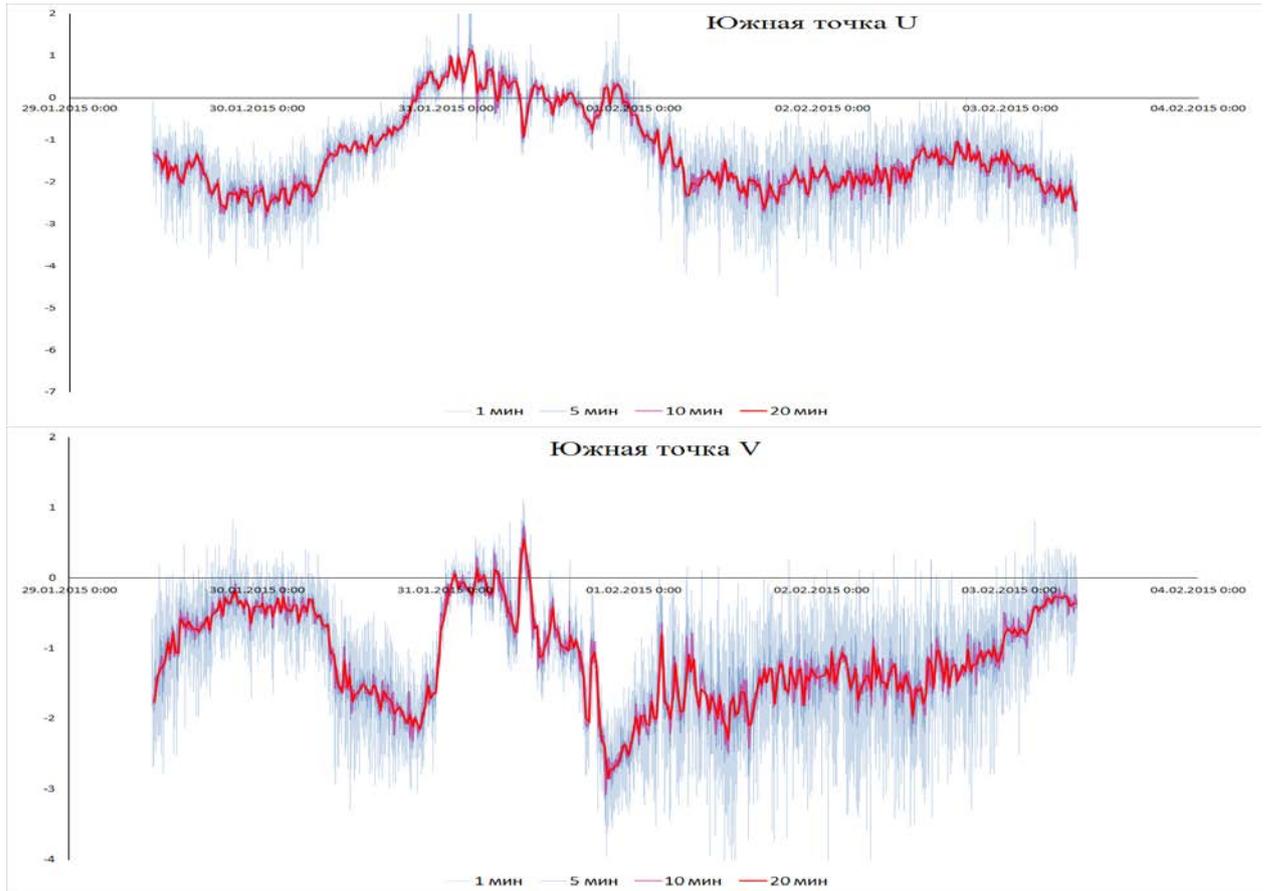
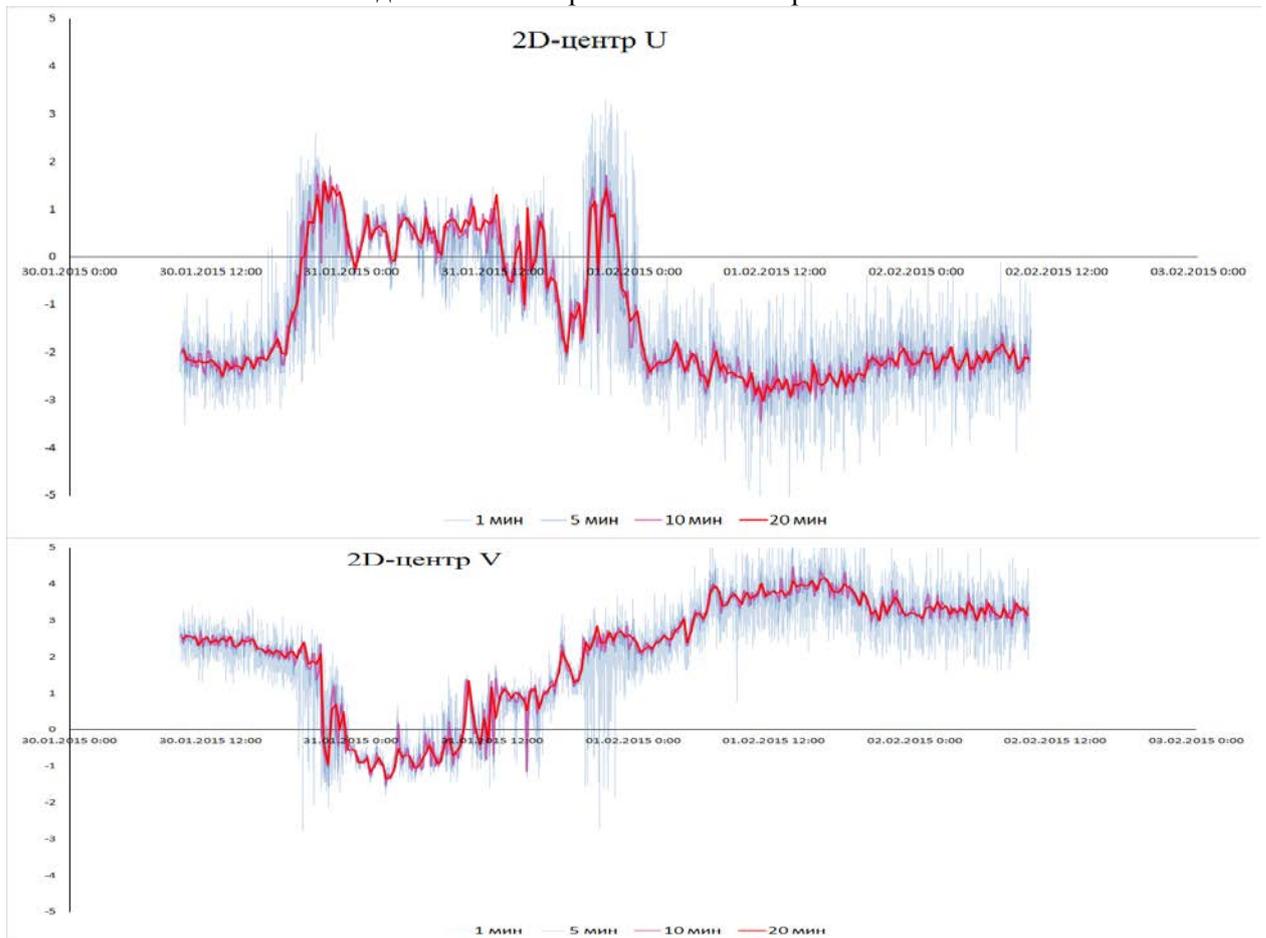
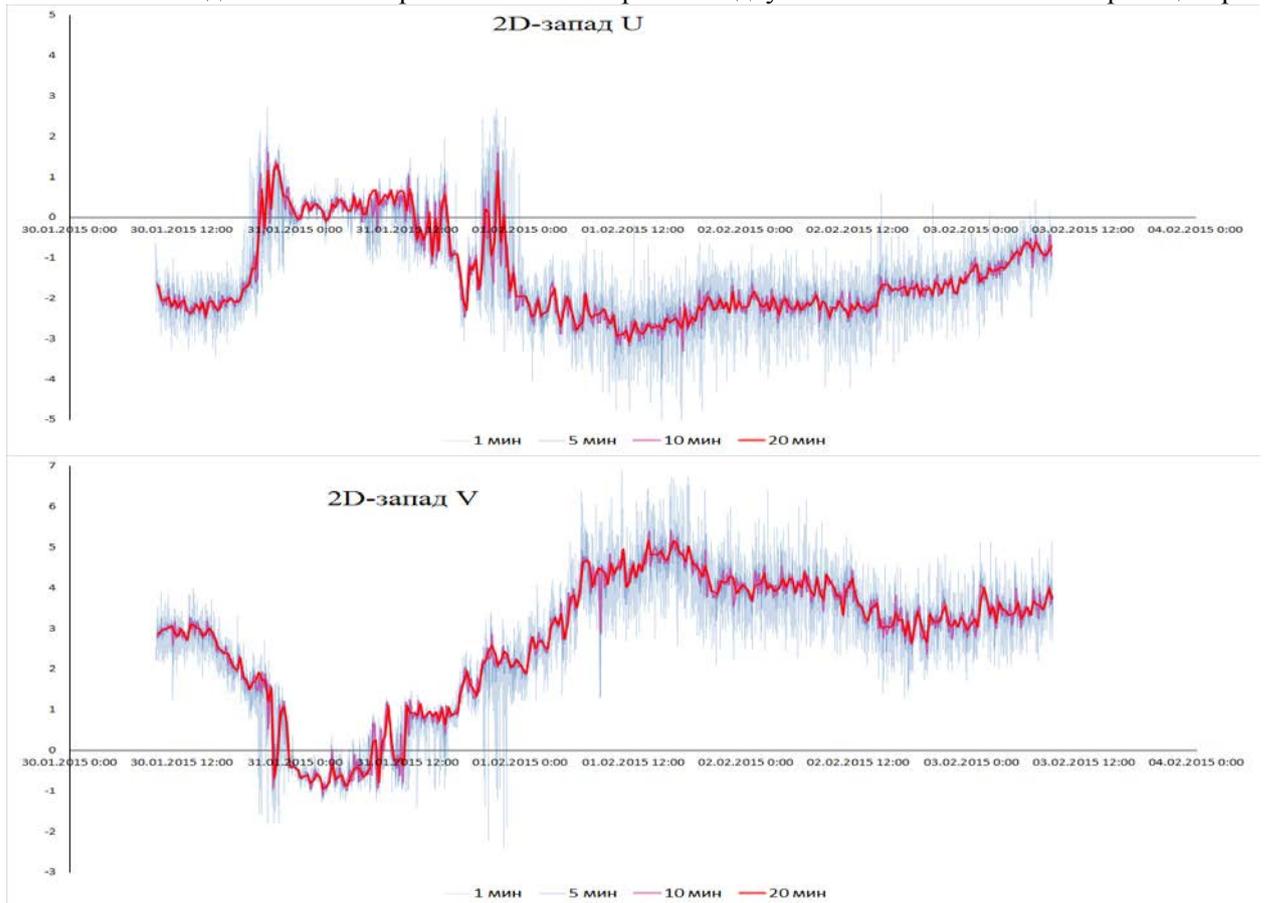


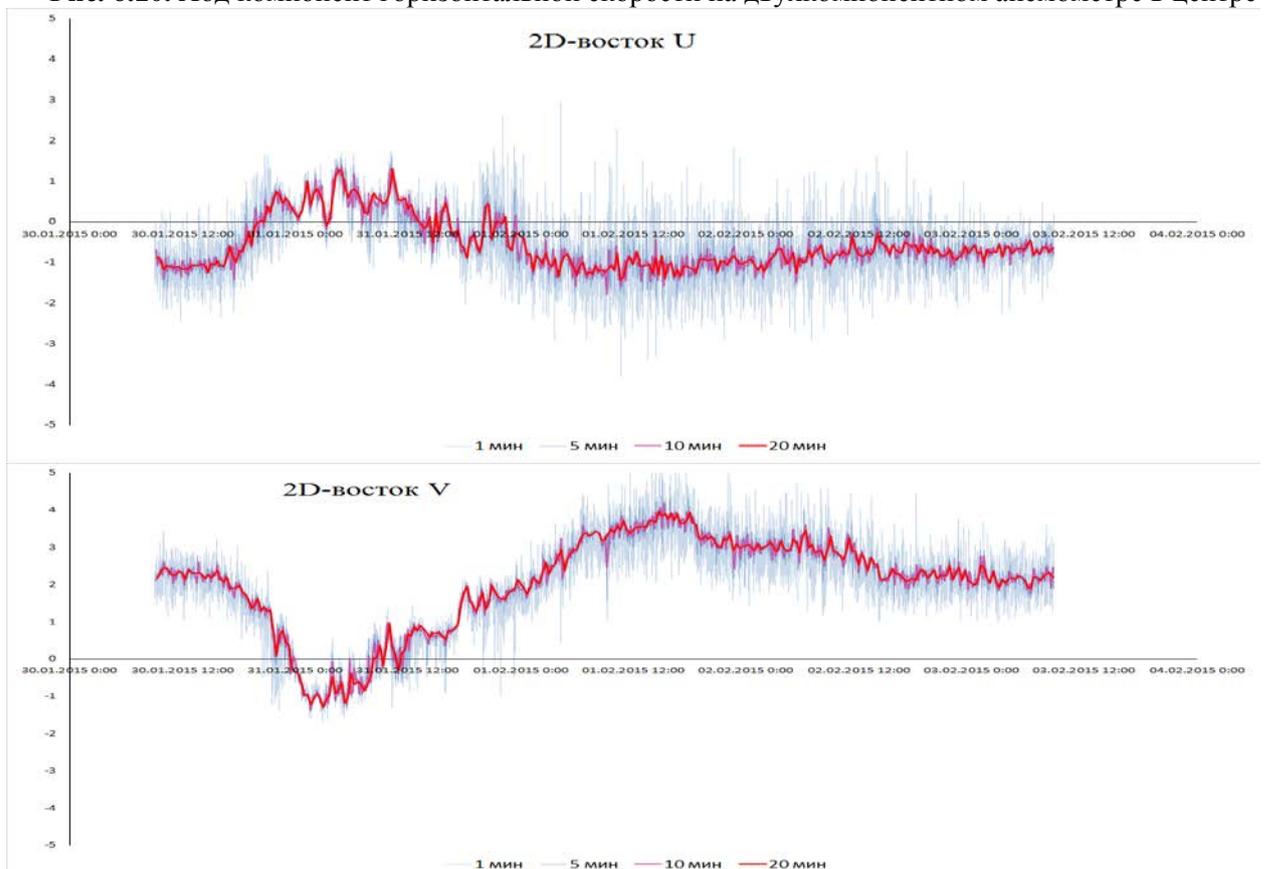
Рис. 6.8. Ход компонент горизонтальной скорости на Южной точке



**Рис. 6.9.** Ход компонент горизонтальной скорости на двухкомпонентном анемометре в центре



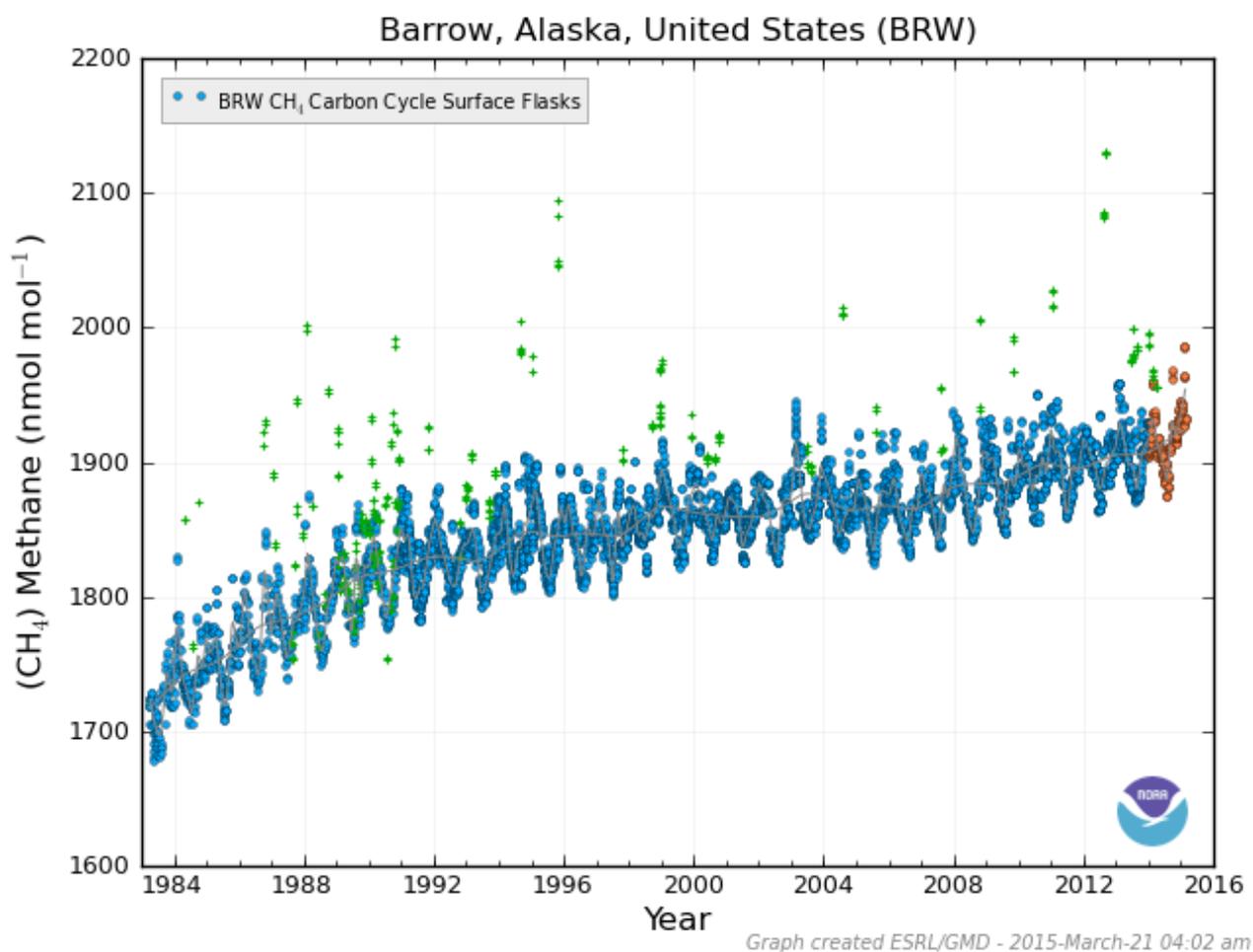
**Рис. 6.10.** Ход компонент горизонтальной скорости на двухкомпонентном анемометре в центре



**Рис. 6.11.** Ход компонент горизонтальной скорости на двухкомпонентном анемометре в центре

## 7 КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕТАНА В ВОЗДУХЕ НАД МОРСКИМ ЛЬДОМ

В глобальных климатических моделях в блоке углеродного цикла большую роль играет метан ( $\text{CH}_4$ ). Метан является вторым важнейшим парниковым газом по вкладу в радиационный форсинг после углекислого газа. Океаны по разным оценкам составляют приблизительно 15% от общей суммы природных источников эмиссии метана. В условиях меняющегося климата, при отступлении льда и увеличении открытости водной поверхности морей Арктики требуется тщательный мониторинг и оценка изменений содержания данного парникового газа в атмосфере. Недавние исследования группы экспертов ИПСС (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) показали, что глобальная концентрация метана в атмосфере в период с 1978 г. по 2011 г. увеличилась от  $1722 \text{ млрд}^{-1}$  до  $1803 \text{ млрд}^{-1}$ . Ситуация в полярных широтах имеет еще более интенсивный характер. Так, один из наиболее длинных рядов наблюдений (с 1983 г. по настоящее время) в полярных широтах на метеорологической станции Барроу (Аляска) представлен на рис. 7.1. График показывает стремительный тренд увеличения концентрации метана приблизительно на 13%.



**Рис. 7.1.** Концентрация метана в атмосфере, ст. Барроу [9]



**Рис. 7.2.** Газоанализатор LI-7700, установленный на пирсе (правый прибор)

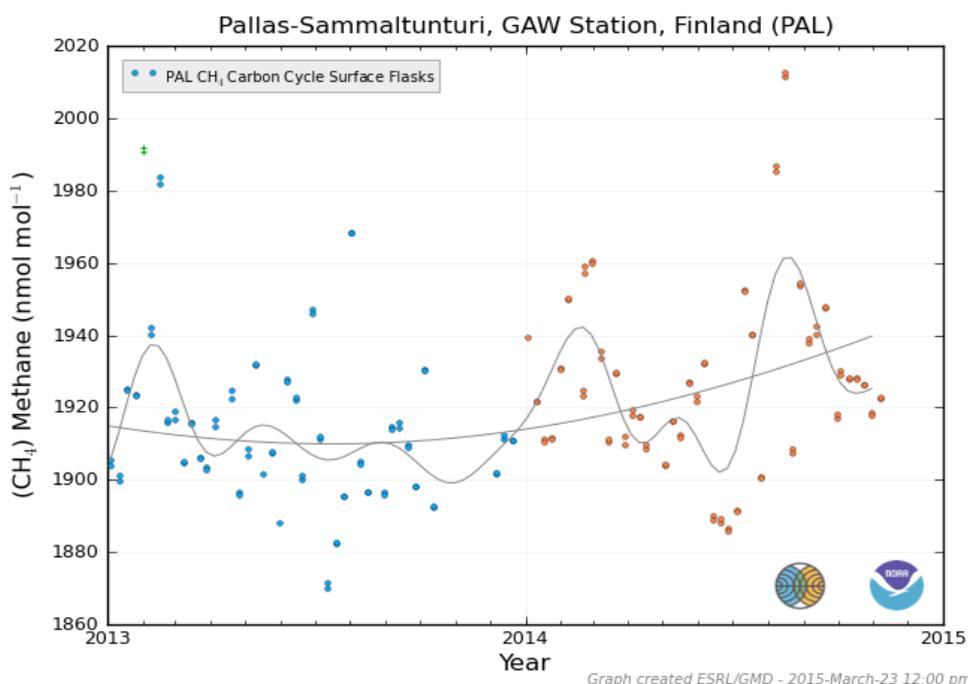
Для измерения концентрации метана в атмосфере на пирсе ББС был установлен газоанализатор открытого типа LI-7700 (см. рис. 7.2), частота измерений которого составляет до 20 Гц. Его работа основывается на принципе спектроскопии с модуляцией длины волны (WMS-спектроскопия), который обеспечивает сильный сигнал и очень низкий уровень шума. Лазер сканирует объем воздуха в полосе поглощения метана приблизительно около 1,6 мкм с высоким разрешением и частотой повторения импульсов. Для определения концентрации  $\text{CH}_4$  LI-7700 демодулирует полученный сигнал дважды в частоте модуляции и затем сравнивает его с формой реферативного сигнала.

Измерения проводились в период с 28.01.15 по 04.02.15 (рис. 7.3). Исследуемый ряд полученных значений ввиду непродолжительности не позволяет сделать каких-либо однозначных выводов. Для сравнения данных наблюдений была выбрана метеорологическая станция в Финляндии, расположенная приблизительно на той же широте, что и Беломорская биологическая станция ( $67.9700^\circ \text{ N}$ ,  $24.1200^\circ \text{ E}$ ). На рис. 7.4 представлены данные наблюдений осредненные за день за период последних двух лет. Так, по данным измерений среднее значение концентрации метана составило около  $2020 \text{ млрд}^{-1}$  (нмоль/моль), что приблизительно на  $100 \text{ млрд}^{-1}$  выше, чем среднее значение за последний год на метеорологической станции в Финляндии ( $1920 \text{ млрд}^{-1}$ ). Подобные различия можно связать с рядом факторов. Физическая гипотеза заключается в том, что достаточно большие значения концентрации метана можно связать с близостью моря и влиянием полыньи, находящейся к северу от пирса. В пользу этой гипотезы свидетельствуют данные автоматической метеостанции Metek, также установленной на пирсе: небольшой слабый тренд увеличения концентрации метана, заметный начиная с 30.01, вероятно, связан с преобладанием ветров

северных румбов, направление которого совпадает с расположением полярной пустыни. Кроме того, в воде ранее сотрудниками биофака МГУ были обнаружены метанобразующие организмы. Другим объяснением может служить тот факт, что столь малый ряд данных отражает ситуацию за очень непродолжительный период времени. В таком случае, физическая интерпретация оценки концентрации метана в атмосфере требует дальнейшего, более детального исследования.



**Рис. 7.3.** Данные измерений концентрации метана на пирсе (красные точки, минутное осреднение), интерполяционная кривая (черная линия)



**Рис.7.4.** Данные измерений концентрации метана в атмосфере на метеостанции в Финляндии (синие и красные точки, осреднение за сутки), интерполяционная кривая (черная линия) [9]

## 8 Влияние приливных процессов на термохалинную структуру вод Белого моря

Океанологический отряд в составе зимней экспедиции на ББС МГУ определил следующие **цели**: определить влияние приливных процессов на термохалинную структуру вод Белого моря, описать термическую структуру оз. Верхнее. Для этого были поставлены **задачи**: 1) проведение суточных измерений термохалинных (давление, температура, электропроводность) характеристик вод Белого моря близ причала ББС с помощью прибора Cast Away YSI; 2) отработать методику постановки приборов, измеряющих температуру и уровень моря (Star-Oddi Starmon mini, Star-Oddi DST milli-TD) в виде «термокос» в море и озере; 3) оценить достоверность программы WxTide для акватории ББС МГУ, 4) ознакомить студентов-первокурсников с основными океанологическими приборами и методиками измерений.

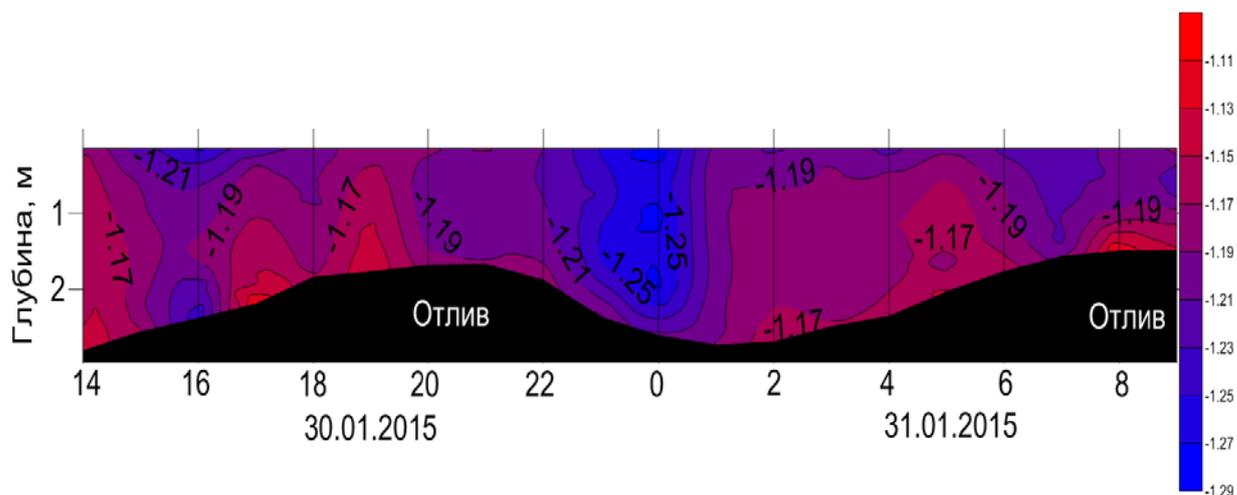


Рис. 8.1. Вертикальное распределение температуры воды (°C) в районе пирса ББС

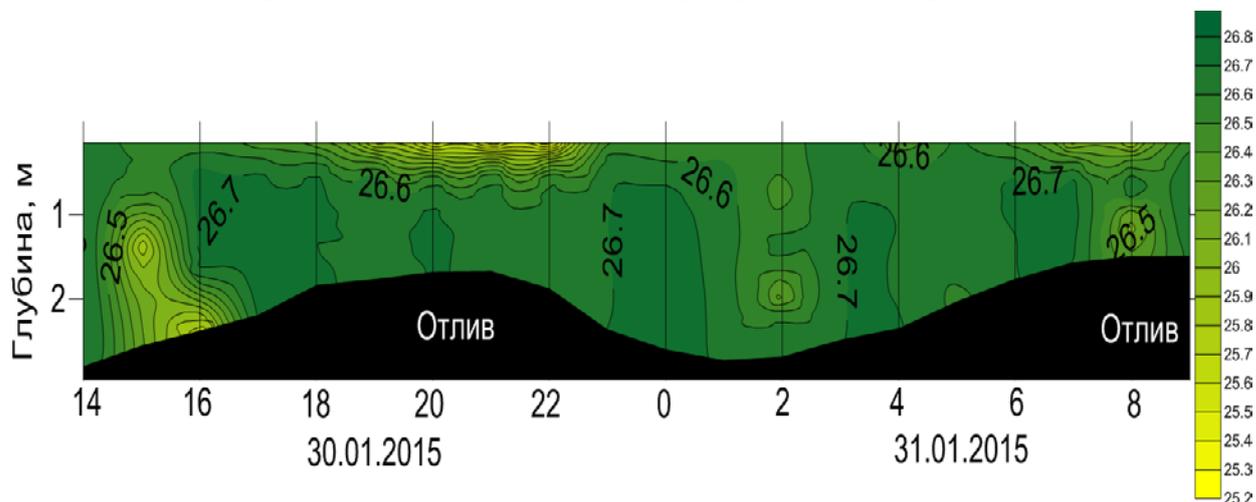
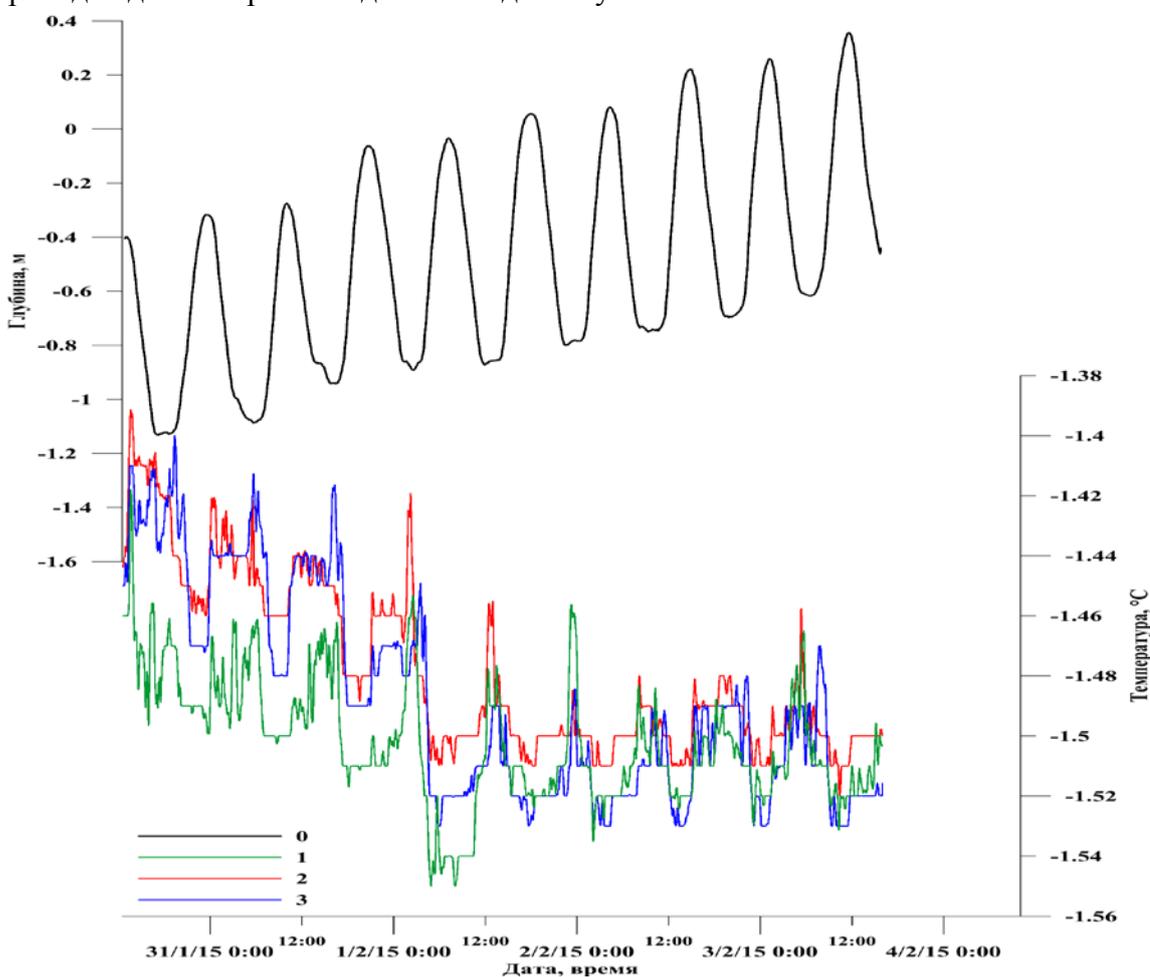


Рис. 8.2. Вертикальное распределение солёности (eps) в районе пирса ББС

Приливные колебания в акватории ББС носят правильный полусуточный характер. В течение суток наблюдаются две малые и две полные воды. Амплитуда полусуточных волн примерно на порядок больше амплитуды суточных. В исследуемой эстуарной системе ярко выражено полумесячное неравенство приливов. Амплитуда сизигийного прилива в 2 раза больше амплитуды квадратурного. Возраст полумесячного неравенства примерно равен 3

суткам, т.е. наиболее высокая полная вода наблюдается через 3 суток после момента новолуния или полнолуния. Приливы оказывают большое влияние на гидрологический режим акватории. Но кроме этого приливные колебания уровня влияют на флору и фауну прибрежных территорий и акваторий.

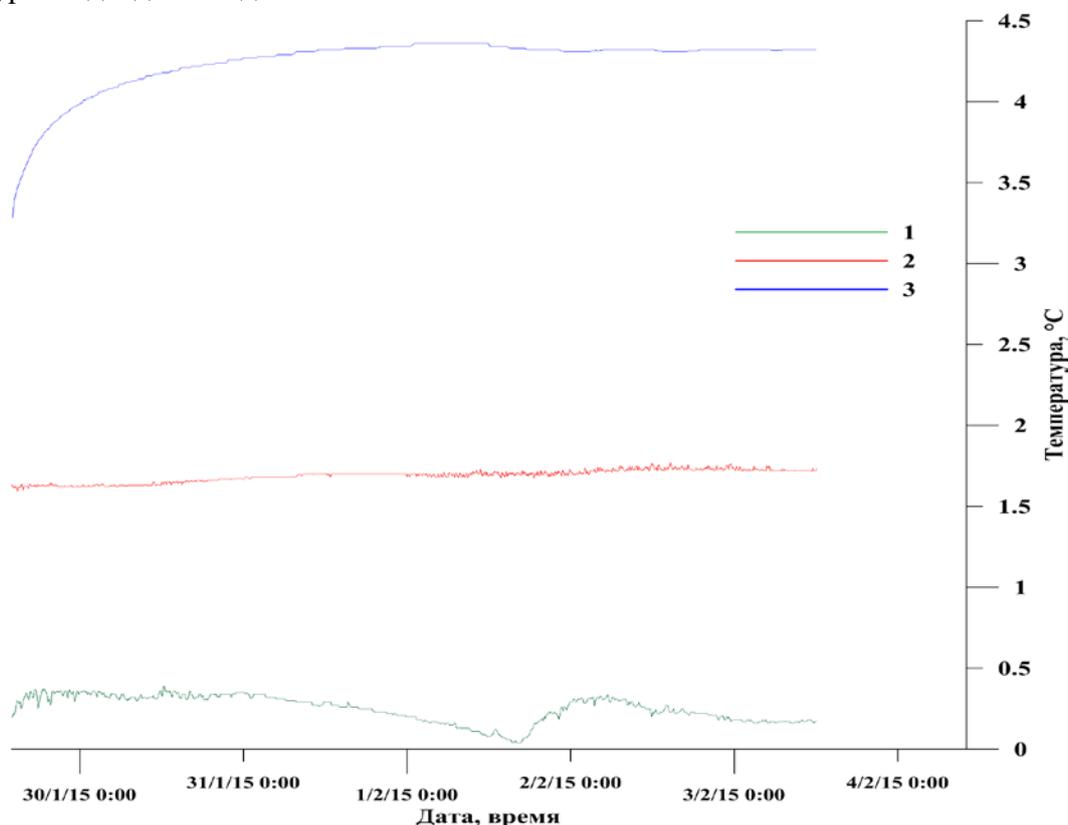
В районе пирса ББС МГУ проведены суточные измерения с 13:00 30 января до 19:00 31 января с помощью прибора Cast Away YSI. По полученным данным были построены распределения температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) (рис. 8.1) и солености (епс) (рис. 8.2). Анализ данных показал достаточно однородную термохалинную структуру морских вод, диапазон измеряемых величин невелик. Температура (рис.1) изменялась от  $-1,11^{\circ}\text{C}$  до  $-1,28^{\circ}\text{C}$  (диапазон  $0,17^{\circ}\text{C}$ ), соленость (рис. 8.2) – от 26,8 до 25,2 епс (диапазон 1,6 епс). Во время измерений при опускании прибора Cast Away YSI лунка очищалась ото льда, однако некоторые льдинки все равно забивали щель прибора, где находится кондуктивная ячейка для измерения электропроводности. Эмпирическим путем доказано, что данный прибор непригоден для измерений в данных ледовых условиях.



**Рис. 8.3.** 1 – Изменение температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ) на глубине 0,5 м, 2 – на 1,5 м, 3 – на 2,5 м; 0 – изменение приливного уровня (м) по данным «термокосы», установленной в районе пирса ББС.

В этой же точке (в районе пирса ББС) поставлена «термокоса» с 12:30 30 января по 10:00 4 февраля, которая состоит из датчиков температуры, установленных условно на глубине 0,5 м (1-й датчик), 1,5 м (2-й) и 2,5 м (3-й), а также датчика давления, установленного на 2-ом датчике температуры. Дискретность измерений датчика температуры составляет 1 секунда, давления – 10 секунд. Известно, что во время измерений

наблюдалась сизигия – что подтверждает тенденция приливного уровня к увеличению на 40 см (рис. 8.3). Величина прилива по полученным данным составила 0,7-0,8 м. 1-й датчик температуры был подвержен наибольшему влиянию атмосферы, так как находился в непосредственном контакте с подводной кромкой льда, поэтому на нем зафиксированы минимальные температуры в прилив 1 февраля до полудня (-1,55 °С). В этот день (с 8:00) происходило понижение температуры воздуха, которое достигло своего минимума в 12:00 и составило -14,8°С. Температура воды изменялась от -1,39°С до -1,55°С (диапазон – 0,16). На рис.3 видно как при приливе температура воды понижается. В момент полной воды температура воды немного возрастает, после чего начинает снова понижаться. Во время отлива температура воды повышается. Это связано с приходом во время прилива более холодной воды с открытой части Белого моря. Во время отлива течения приносят более теплую воду из вершины Ругозерской губы. При этом минимумы температуры наблюдались в самом начале отливной фазы. Возможно, это связано с небольшим охлаждением воды в моменты полной воды, когда вода проникала в приливные трещины. При начале отлива уже более холодная вода снова погружалась под ледовую корку и происходило понижение температуры подледной воды.



**Рис. 8.4.** 1- Изменение температуры воды (°С) на 0,2 м, 2 – на 0,7 м, 3 – на 1,7 м

С 29 января по 3 февраля была установлена «термокоса» на озере Верхнем. 1-й датчик температуры установлен на 0,2 м, 2-й – на 0,7 м, 3-й – на 1,7 м. Температура на глубине 1,7 м составила 4,3°, на 0,7 м – 1,6°, на глубине 0,2 м температура изменялась от 0,3°С до 0,04°С (рис. 8.4.). Первый датчик был вморожен в лед, хотя лунка была укрыта лапником. Однако также как и на пирсе наблюдается понижение температуры воды на первом датчике 1 февраля после полудня. Превышение температуры наибольшей плотности в 4 С на глубине соответствует тому, что здесь наблюдается минерализация 11,2 мкСм/см.

С 29 января по 3 февраля установлена пробная «термокоса» в мористой части вблизи оз.Кисло-Сладкое. На данной «термокосе» аналогичным способом вблизи пирса ББС установлены датчики температуры и давления, однако первые два датчика температуры и давления были перепутаны, заморожены в лед; данные с этой станции были забракованы.

За время экспедиции малочисленный океанологический отряд, состоящий из трех человек, добился следующих результатов: 1) получена термохалинная структура подледной воды близ причала ББС 2) отработана методика постановки приборов в виде «термокос», с помощью которых выявлена пространственно-временная изменчивость тонкой термической структуры вод Белого моря и оз.Верхнего; 3) экспериментально доказана неспособность использования прибора Cast Away YSI в условиях ледовой обстановки на морской акватории; 4) по данным *in situ* гидростатического давления проведена сравнительная характеристика между приливными колебания Ругозерской губы Белого моря и модельными данными программы WxTide.



Рис. 8.5. Океанологические работы в Ругозерской губе Белого моря

**9 ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В РАЙОНЕ ББС  
В ЯНВАРЕ-ФЕВРАЛЕ 2015 Г.**

**9.1. Характеристика приливов в прибрежной зоне Белого моря по данным измерений логгеров в январе-феврале 2015 г.**

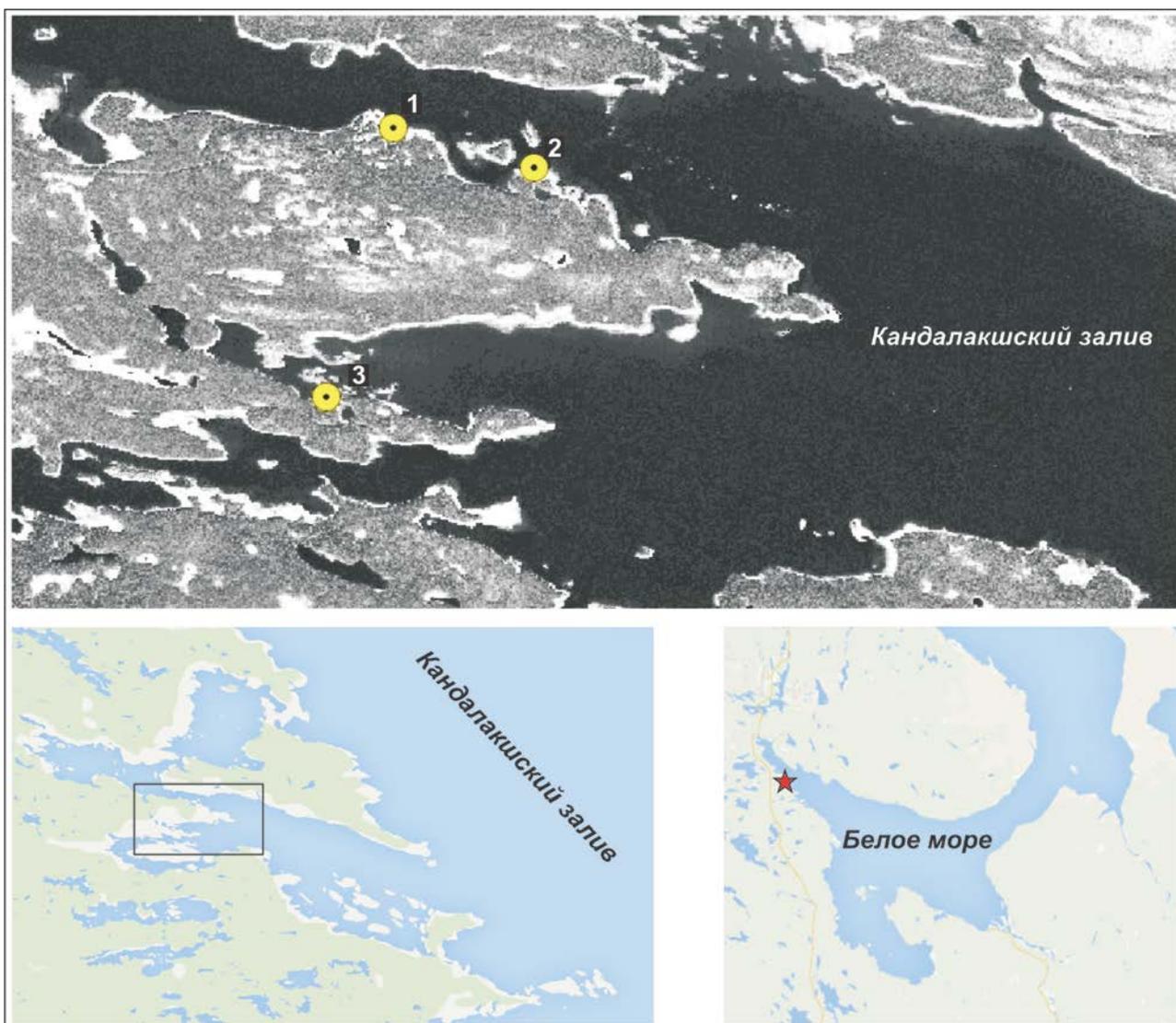
В Белом море морские приливы являются одним из важнейших факторов формирования береговой зоны. На гидрологический режим приморских озер они могут оказывать как прямое, так и косвенное воздействие. Например, при наличии непосредственной связи между озером и морем, от приливов зависит интенсивность и периодичность водообмена между этими водными объектами. А это, в свою очередь, определяет гидрологическую структуру водных масс в озерной котловине.

В районе ББС МГУ характеристики морских приливов ранее изучались сотрудниками и учащимися кафедры океанологии Географического факультета МГУ. Ими были рассчитаны гармонические постоянные, которые теперь используются для предвычислений приливов в открытой программе WXTide. Но эти исследования в основном проводились в теплое время года. Поэтому зимние наблюдения, когда на характеристики морских приливов воздействует лед, все еще актуальны.

В части, касающейся обсуждаемой проблемы, НСО-2015 необходимо было оценить качество предвычислений и пространственную изменчивость морских приливов в период ледостава. Для этого в прибрежной зоне моря было установлено три автоматических датчика давления: первый в районе пирса ББС, второй около озера Кисло-Сладкое и третий у лагуны у Зеленого мыса (рис. 9.1). В табл. 9.1 представлена краткая информация об имеющихся рядах наблюдений. На рис. 9.2-9.3 показана схема установки приборов.

**Табл. 9.1.** Основные сведения о рядах наблюдений за уровнем воды в прибрежной зоне Белого моря в районе ББС (зима 2015 г.)

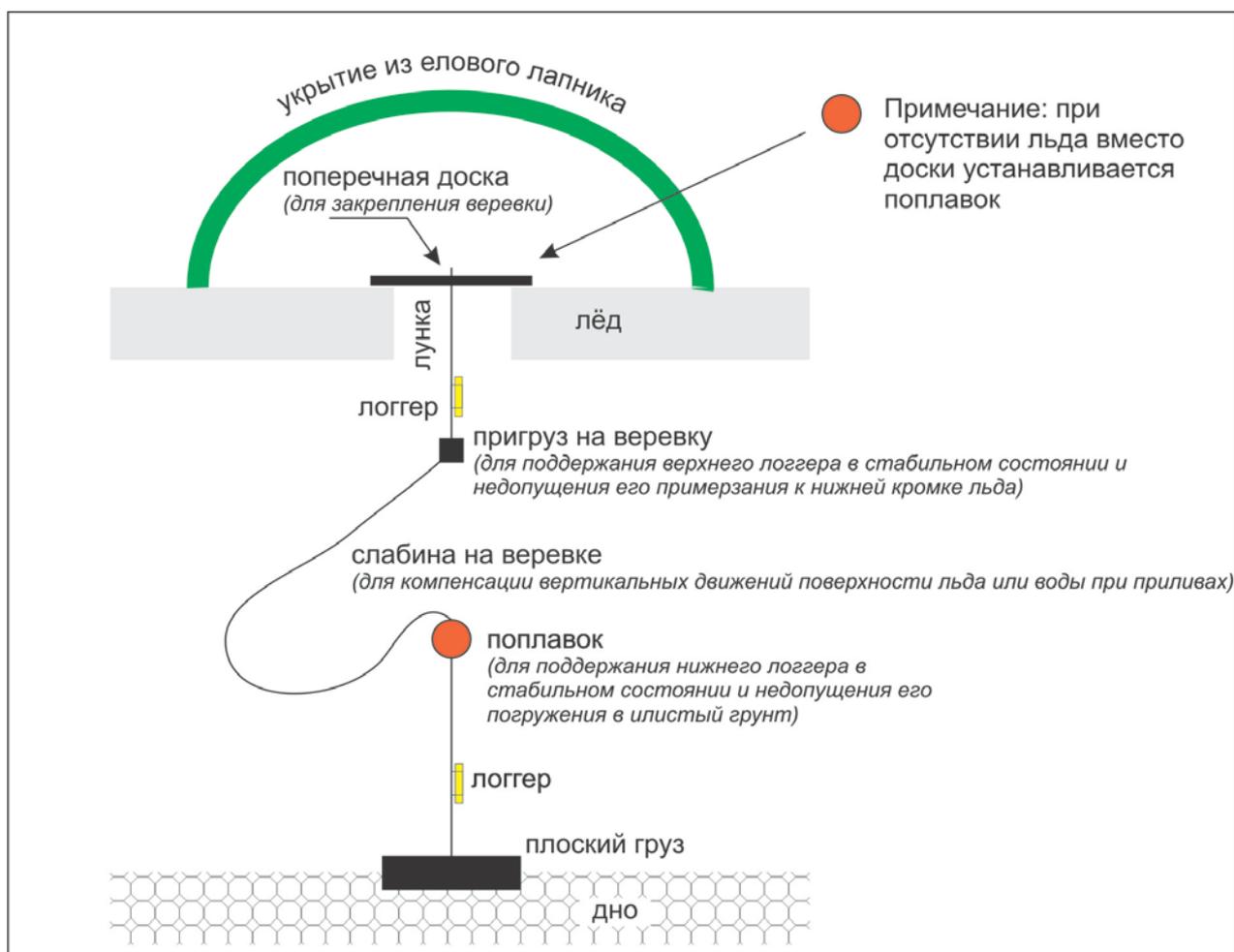
№	Место установки	Тип и номер прибора	Период работы	Оценка качества наблюдений
1	у пирса ББС	3001 LT Levelogger Junior Edge M5 №195	26 янв – 4 фев	Перерывов в записи и нет; положение приборов по вертикали было стабильным. Качество хорошее.
2	около озера Кисло-Сладкое (N66.55030 E33.13369)	3001 LT Levelogger Junior Edge M5 №187	28 янв – 4 фев	
3	около озера Зеленого мыса (N66.53141 E33.09123)	DST (изг. Star-ODDI) №7218	28 янв – 3 фев	



**Рис. 9.1.** Размещение датчиков давления в прибрежной зоне Белого моря. Район ББС. Экспедиция НСО-2015: 1 — у пирса ББС; 2 — около озера Кисло-Сладкое; 3 — около озера Зеленого мыса



**Рис. 9.2.** Снятие логгеров в заливе рядом с лагуной у Зеленого мыса



**Рис. 9.3.** Схема установки логгеров для измерений в поверхностном и придонном горизонтах водоемов

**Оценка качества предвычислений приливов в программе WXTide.** В районе ББС приливы близки к правильным полусуточным. В течение года их величина колеблется от 1,0-1,2 м в квадратуры до 1,7-2,1 м в сизигии. В период работы экспедиции НСО-2015 величина приливов (по предвычислениям) должна была изменяться от 1,3-1,4 м до 1,7-1,8 м (рис. 9.4). Данные наблюдений показали, что реальные колебания уровня совпадали по фазам с предвычисленными, но измеренные величины приливов были меньше предвычисленных на 0,1-0,2 м (рис. 9.4). При этом заметно, что чем больше была величина приливов, тем лучше предвычисления совпадали с реальными колебаниями уровня. На основе столь непродолжительных наблюдений, каковые имели место зимой 2015 г., нельзя установить причину обусуждаемых расхождений. Скорее всего, она связана с влиянием льда и ветра. Но все-таки возможно, что некоторая доля расхождений объясняется недоучетом каких-то более консервативных факторов, чем лед и ветер, влияние которых может быть описано гармоническими законами. Поэтому можно надеяться, что при наличии более продолжительных рядов наблюдений в зимний период качество предвычислений для этого сезона удастся немного улучшить. Хотя существенное улучшение вряд ли достижимо.

Кроме вышеописанной проблемы, на рис. 9.4 заметно отставание экстремумов реальных колебаний уровня от предвычисленных на 0,5-1,0 ч. Скорее всего, это было связано с

тем, что в программе WXTide не учтен переход на зимнее время (перевод часов на 1 час назад), состоявшийся в России осенью 2014 г.

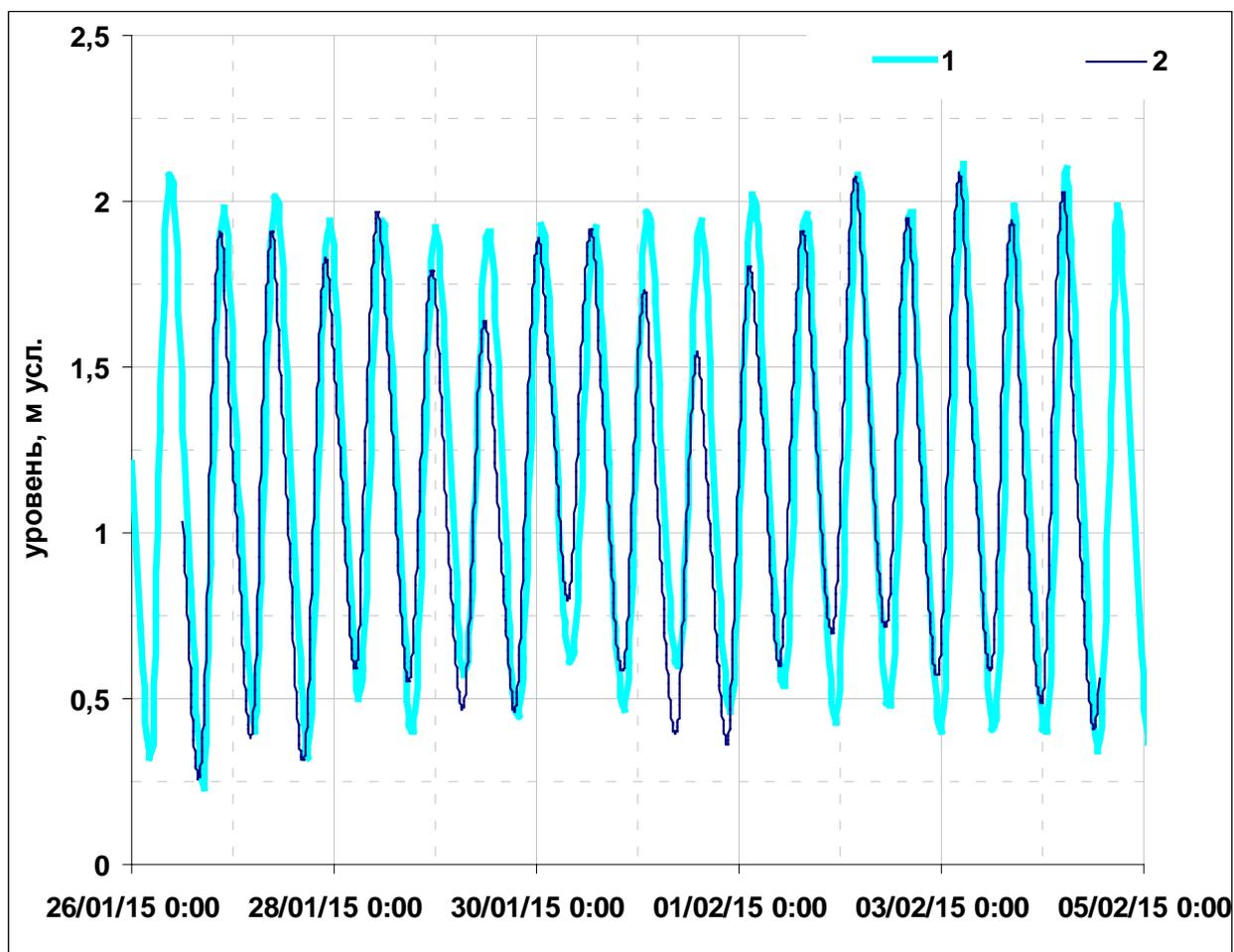


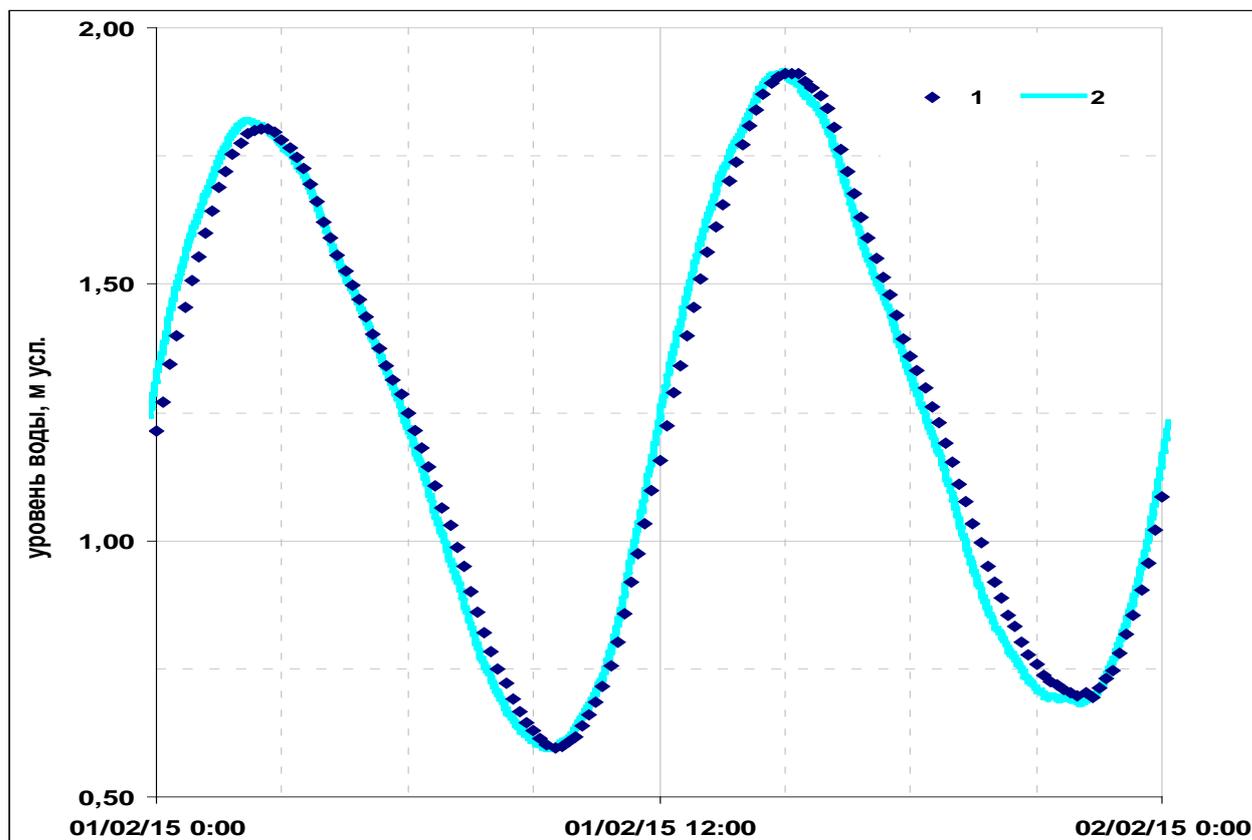
Рис. 9.4. Предвычисленные в программе WXTide (1) и измеренные (2) уровни воды в прибрежной зоне Белого моря у пирса БС МГУ<sup>1</sup>

В целом, качество предвычислений приливов в районе пирса БС можно оценить как удовлетворительное. При введении поправки на зимнее время (минус 1 ч от расчетных величин), предвычисления могут быть использованы для планирования и предварительной оценки результатов гидрологических исследований в непосредственной близости от пирса БС. При этом точная оценка полученных результатов возможна только при использовании данных непосредственных наблюдений за уровнем моря.

**Оценка пространственной изменчивости морских приливов в районе БС.** Наблюдения за уровнем моря в районе озера Кисло-Сладкое (рис. 9.1) позволили установить следующее. В целом колебания уровня моря в этом месте идентичны таковым в районе пирса БС (рис. 9.5). При этом заметно, что приливы в районе озера Кисло-Сладкое опережают приливы у пирса на 5-10 минут. Скорее всего, это объясняется тем, что первый пункт нахо-

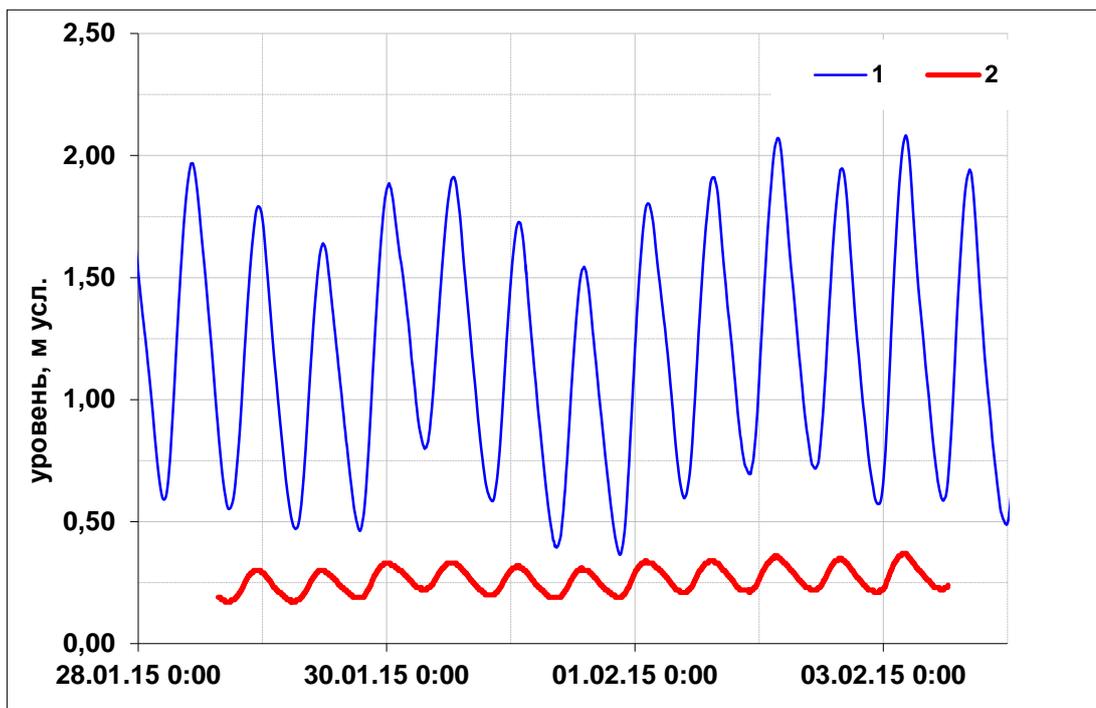
<sup>1</sup> Логгеры измеряли не уровень воды как таковой, а гидростатическое давление. Поэтому на их показания влияли изменения атмосферного давления. В связи с этим, в данные измерений логгеров были введены необходимые поправки, рассчитанные на основе измерений атмосферного давления на метеостанции «Кандалакша» (открытые данные с сайта [www.rp5](http://www.rp5)).

дится ближе к выходу в Кандалакшский залив, чем второй. И хотя между ними всего 1400 м, совместного влияния мелководий и льда оказывается достаточным, чтобы задержать распространение приливной волны на рассматриваемом участке на столь значительное время.



**Рис. 9.5.** Изменения уровня воды в прибрежной зоне Белого моря: 1 — около пирса ББС; 2 — около озера Кисло-Сладкое (с учетом поправок, устраняющих влияние атмосферного давления)

В районе озера Зеленого мыса приливные колебания уровня моря составляли 0,10-0,15 м, что было на порядок меньше, чем около пирса ББС (рис. 9.6). При этом в обоих пунктах приливы почти совпадали по фазам. Скорее всего, столь значительная трансформация приливов была связана с соответствующим влиянием рельефа и льда. Логгер был установлен в вершине небольшого залива в непосредственной близости от озера Зеленого мыса (рис. 9.7). В эту акваторию приливы проникают со стороны Кандалакшского залива. По-видимому, их свободному распространению в пределах обсуждаемой акватории препятствуют небольшая ширина пролива на входе в нее и мелководья в ее вершине (рис. 9.7). Зимой действие этих факторов, скорее всего, усиливается из-за льда (он может существенно уменьшать живое сечение залива над мелководьями и в районе входного пролива).



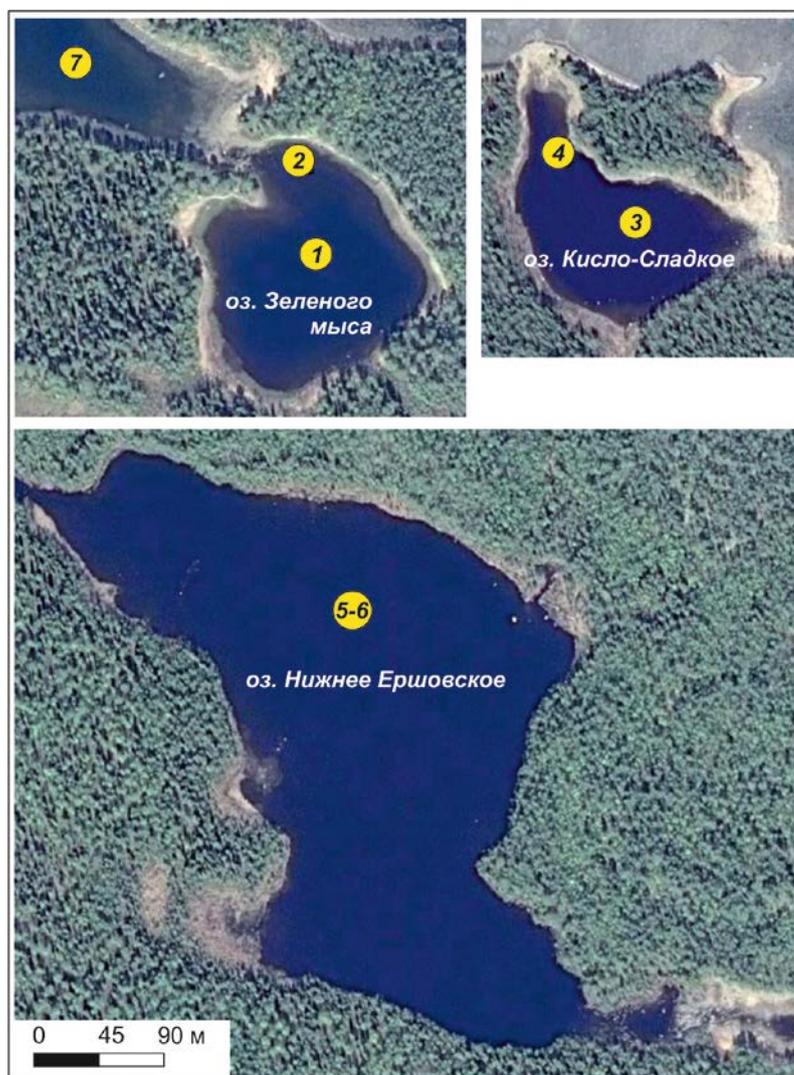
**Рис. 9.6.** Изменения уровня воды в прибрежной зоне Белого моря: 1 — около пирса ББС; 2 — около озера Зеленого мыса (с учетом поправок, устраняющих влияние атмосферного давления)



**Рис. 9.7.** Береговая зона Белого моря в районе озера Зеленого мыса (фрагмент космического снимка из Google Earth): 1 — узкий пролив на входе в залив (ширина ок. 40 м); 2 — мелководья в вершине залива

## 9.2. Характеристика временной изменчивости уровня, температуры и солености воды в прибрежных озерах (Зеленого мыса, Кисло-Сладкое и Нижнее Ершовское) по данным измерений логгеров в январе-феврале 2015 г.

Цель обсуждаемого вида работ состояла в установлении факта наличия или отсутствия водообмена между прибрежными озерами и Белым морем в зимний период. Наличие водообмена в теплое время года было обнаружено в предыдущих исследованиях, выполненных сотрудниками и студентами кафедры гидрологии суши Географического факультета МГУ. О характере водообмена в зимний период достоверных сведений до НСО-2015 не было. Рабочая гипотеза заключалась в том, что при наличии непосредственной связи между озерами и морем, в озерах будут заметны периодические изменения основных гидрологических характеристик, соответствующие фазам приливов в море. Для исследования этого вопроса в озерах Зеленого мыса, Кисло-Сладкое и Нижнее Ершовское были установлены автоматические датчики давления, температуры и солености воды. Места постановок логгеров показаны на рис. 9.8. В табл. 9.2 представлена краткая информация об имеющихся рядах наблюдений.



**Рис. 9.8.** Размещение логгеров в прибрежных озерах в районе БС МГУ в 2015 г. Нумерация на рисунке соответствует нумерации в табл. 9.2.

**Табл. 9.2.** Основные сведения о рядах наблюдений за уровнем, температурой и соленостью воды в прибрежных озерах в районе ББС МГУ (зима 2015 г.)

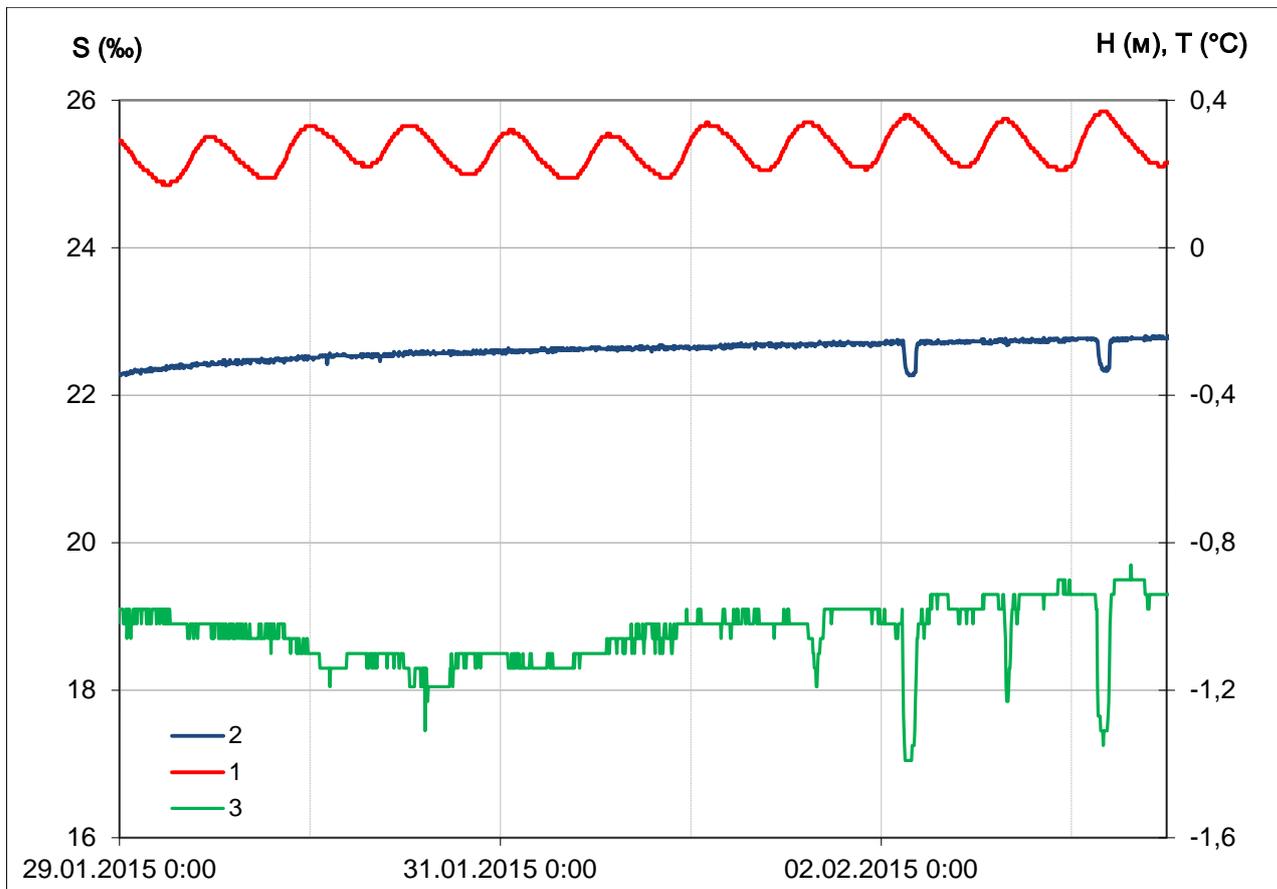
№	Место установки	Глубина установки; измеряемые характеристики; номера приборов*	Период работы	Оценка качества наблюдений
1	озеро Зеленого мыса в котловине (N66.53021 E33.09499)	6,0 м Т, S, Н №7213, 7269	28 янв – 3 фев	Перерывов в записи и нет; положение приборов по вертикали было стабильным. Качество хорошее.
2	озеро Зеленого мыса у перемычки (N66.53080 E33.09474)	1,1 м Т, S, Н №7211, 7268	28 янв – 3 фев	
3	озеро Кисло-Сладкое в котловине (N66.54823 E33.13556)	3,9 м Т, S, Н №7262, 444	29 янв – 4 фев	
4	озеро Кисло-Сладкое у перемычки (N66.54872 E33.13426)	0,7 м Т, S, Н №7270, 445	29 янв – 4 фев	
5-6	озеро Нижнее Ершовское в котловине (N66.53798 E33.05919)	0,5 м; 2,5 м Т, Н №199 (пов), 179 (дно)	30 янв – 1 фев	
7	Белое море у озера Зеленого мыса (N66.53141 E33.09123)	2,8 м Т, S, Н №7218, 7264	28 янв – 3 фев	

\*В озере Нижнее Ершовское приборы устанавливались в подледный и придонный горизонты. При этом использовались логгеры 3001 LT Levelogger Junior Edge M5. Во всех других случаях приборы устанавливались в придонный горизонт (0,1-0,2 м от дна), при этом использовались логгеры DST TD и TS (производитель - Star-ODDI).

**Лагуна у Зеленого мыса.** Логгер, установленный у дна в котловине озера (рис. 9.8), не зафиксировал каких-либо существенных колебаний гидрологических характеристик, которые можно было бы связать с воздействием морских приливов — в продолжение 6 дней наблюдений уровень и соленость воды здесь были стабильными, а температура воды устойчиво понижалась (на 0,3°C за весь период). Измерения у перемычки, отделяющей озеро от моря (рис. 9.8), показали, что уровень воды здесь тоже был стабильным. Но колебания температуры и солености воды в отдельные периоды (прежде всего, 2 и 3 февраля, рис.9.9) скорее всего, имели приливную природу. Об этом свидетельствует то, что резкие изменения обеих характеристик совпадали по времени с полными водами в море. При этом и температура и соленость воды в озере понижались (то есть характеристики озерной воды становились ближе к характеристикам более холодных и немного менее соленых морских вод). Эти факты могут свидетельствовать о том, что зимой 2015 г. на максимумах некоторых приливов в озеро проникало небольшое количество свежей морской воды. К сожалению, пока не ясно, каким образом морская вода попадала в озеро (через существующую протоку или фильтрацией через тело перемычки). Для решения этого вопроса в будущем нужно провести прямые наблюдения в течение хотя бы одного приливного цикла.

Судя по данным логгеров, зимой 2015 г. морская вода распространялась над более плотной озерной водой, находившейся в придонном горизонте озерной котловины. Благодаря этому поверхностный горизонт озера периодически освежался. Следует отметить, что это происходило на фоне малой величины приливов в вершине залива, в который впадает протока из озера Зеленого мыса (см. «Оценка пространственной изменчивости

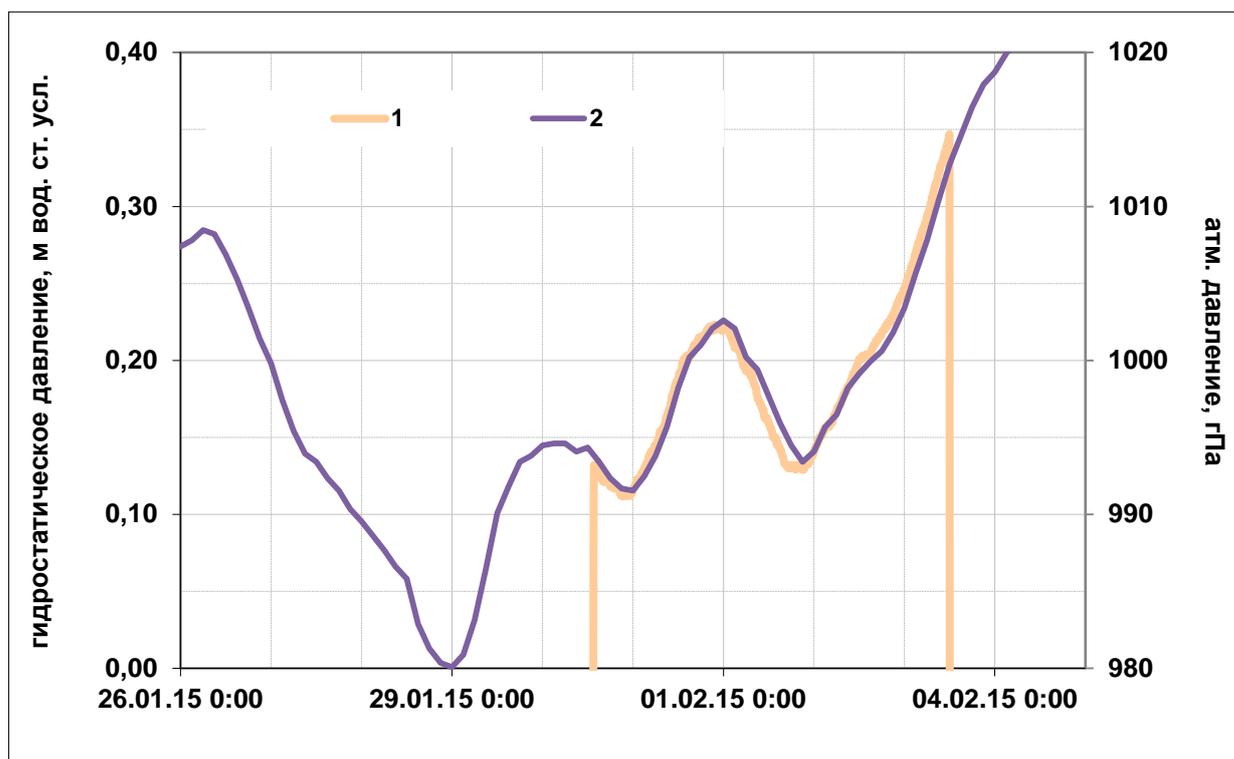
морских приливов в районе ББС»). Можно предположить, что в те периоды года, когда морской лед не препятствует проникновению приливов из открытой части моря, поступление морской воды в озерную котловину будет интенсивнее.



**Рис. 9.9.** График изменения уровня (1), солености (2) и температуры (3) воды в озере Зеленого мыса. Логгер №2 на рис. 9.8 и в табл. 9.2.

**Озеро Кисло-Сладкое.** Оба логгера, установленные в котловине озера и около перемычки (рис. 9.8), не зафиксировали каких-либо периодических колебаний гидрологических характеристик, которые можно было бы связать с воздействием морских приливов. Таким образом, в период экспедиции НСО-2015 никаких признаков водообмена между озером Кисло-Сладкое и Белым морем не было.

**Озеро Нижнее Ершовское.** Предварительная гидрологическая съемка озера показала полное отсутствие в его котловине осолоненных вод. Поэтому сразу стало ясно, что зимой 2015 г. морская вода в него не попадала. Но все же здесь было установлено два датчика температуры и давления (в поверхностном и придонном горизонтах). Это было сделано для выяснения методического вопроса — как гидростатическое давление в покрытом льдом озере реагирует на изменение атмосферного давления над его поверхностью. В итоге оказалось, что эти характеристики изменяются идентично (рис. 9.10). Это лишний раз подтвердило ту истину, что в показания датчиков гидростатического давления необходимо вводить поправки на колебания атмосферного давления.



**Рис. 9.10.** График изменения уровня воды в озере Нижнее Ершовское (1) и атмосферного давления по метеостанции Кандалакша (2). Логгер №5 на рис. 7 и в табл. 9.2.

## 10 ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕР В ОКРЕСТНОСТЯХ ББС В ЯНВАРЕ-ФЕВРАЛЕ 2015 Г.

В зимней экспедиции на Беломорской биологической станции для определения вертикальной структуры водоемов на разных стадиях отдаления от моря в зимний период (28.01 - 03.02) 2015 г. были проведены однодневные гидролого-гидрохимические синхронные съемки (ГГСС) озер. Данная работа представляет собой измерение толщины льда, высоты снега, температуры, электропроводности или солености воды на различных горизонтах, производимые в нескольких станциях, равномерно расположенных относительно друг друга. В течение дня измерения проводились на одном озере. Основным прибором был кондуктометр YSI 1030 Pro, измерения проводились от поверхности к дну через 0,25 м. Точность измерения температуры составляла 0,2 °С, электропроводности 2%, солености 2%. Электропроводность приведена к 25 °С. Соленость измеряется также кондуктометрическим методом, выражена в единицах практической солености (епс) и соответствует значениям в промилле (‰).

Работа главным образом представляет собой измерение распределения по глубине температуры и электропроводности воды на озерах полуострова Киндо: Кисло-Сладкое (6), Верхнее Ершовское (7), Нижнее Ершовское (9), Верхнее, Водопроводное, Трехцветное (4) и в лагуне на Зеленом мысу (1) (рис.10.1). Перечень и координаты гидрологических станций приведены в Приложении 2.

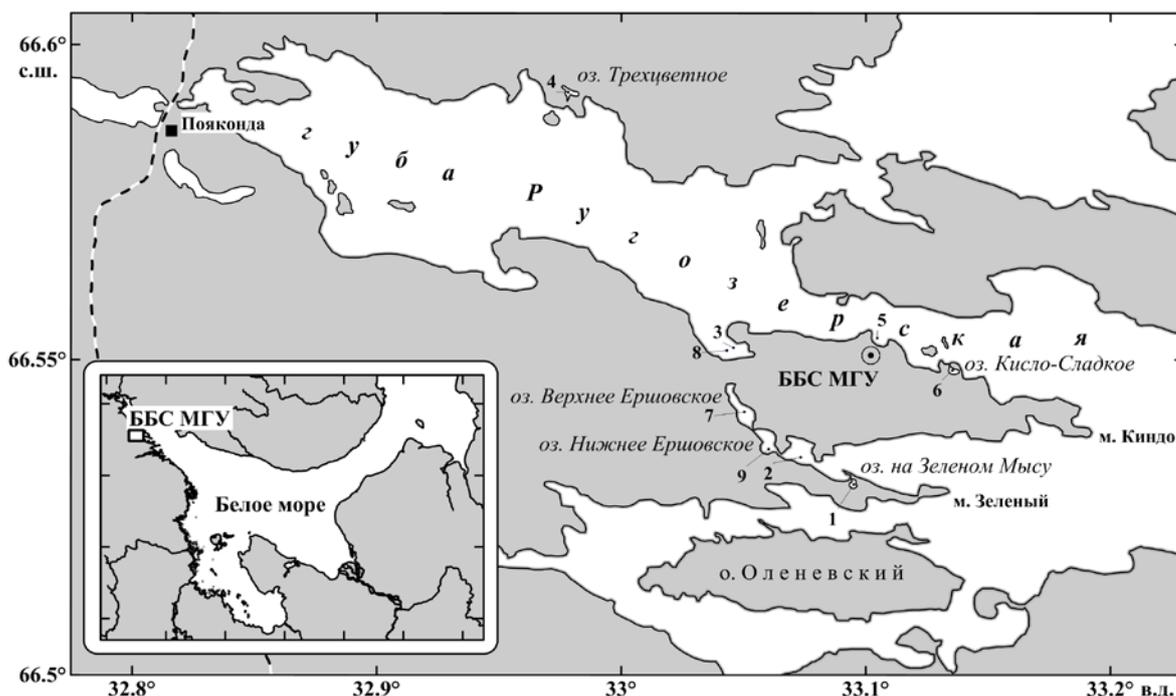


Рис. 10.1. Местоположение обследованных озер

Водная толща озер различается по вертикальному распределению температуры и минерализации (или солености). Для всех озер характерно в целом увеличение температуры с глубиной, а также увеличение электропроводности. В большей части озер в зимний период наблюдаются аномально высокие температуры воды, не характерные для устойчивой обратной температурной стратификации. Озера полуострова Киндо по классификации О.А. Алекина относятся к классам пресных, солоноватых и соленых. Основные характеристики обследованных озер приведены в табл. 10.1.

Соленое озеро – лагуна на Зеленом мысу отличается незначительной температурной стратификацией. Температура возрастает от  $-1,6^{\circ}\text{C}$  на поверхности до  $2,4^{\circ}\text{C}$  у дна на глубине 5,8 м. Аномалия данного озера состоит в том, что при морском составе его соленость возрастает от 23,7‰ на поверхности до 28,4‰ на дне, достигая на глубине 3,5 м фоновой морской солености в 26,5‰.

**Табл. 10.1.** Основные характеристики озер полуострова Киндо в 2015 г.

Озеро	Тип	Макс. глубина, м	Мин. темп-ра, $^{\circ}\text{C}$	Макс. темп-ра, $^{\circ}\text{C}$	Мин. электр-ть, мкСм/см (соленость, ‰)	Макс. электр-ть, мкСм/см (соленость, ‰)	Устойчивость стратификации
Кисло-Сладкое	Солон	4,0	-0,8	4,5	19300 (12,6)	35345 (25,2)	Не опред.
Верхне-Ершовское	Пресн	4,8	0,0	5,4	92,2	243,9	Устойч.
Верхнее	Пресн	2,75	0,0	5,2	17,4	65,5	Устойч.
Водопроводное	Пресн	2,9	0,0	4,5	23,5	80,5	Устойч.
Трехцветное	Солон	7,75	-0,1	7	431	35176 (21,6)	Не опред.
Нижне-Ершовское	Солон	2,9	0,0	6,1	14,5	4360	Устойч.
Лагуна на Зел. мысу	Сол	5,8	-1,6	2,4	39947 (23,7)	46003 (28,4)	Не опред.

### Пресные озера

В пресных озерах - Водопроводном и Верхнем, температура достигает соответственно  $4,5$  и  $5,2^{\circ}\text{C}$  в придонных слоях. В химическом составе этих озер преобладают гидрокарбонаты, поэтому для них возможен расчет вертикальной устойчивости на основе методов определения плотности Чена и Миллера [46], а также Эдельштейна [47] с помощью уравнения состояния пресной воды (10.1):

$$\rho_0 = 995,975 + 10^{-3}(2 + 0,79K_{18} + 2 \times 10^{-4} K_{18}^2) - (T - 3,98)^2(T + 283) / 503,57(T + 67,26), \quad (10.1)$$

где  $\rho_0$  - плотность воды при известной температуре и электропроводности  $[\text{кг}/\text{м}^3]$ ,

$K_{18}$  – электропроводность воды, приведенная к  $18^{\circ}\text{C}$  по формуле (10.2) или (10.3):

$$K_{18} = K_{изм} / (1 + 0,023(T_{изм} - 18)) \quad (10.2)$$

$$K_{18} = 0,861 \times K_{25}, \quad (10.3)$$

Где  $K_{изм}$  – измеренная электропроводность,  $T_{изм}$  – измеренная температура,  $K_{25}$  – электропроводность, приведенная к  $25^{\circ}\text{C}$  (стандарт для многих кондуктометров).

Вертикальная устойчивость – это вертикальный градиент плотности  $\frac{\partial \rho_0}{\partial z}$   $[\text{кг}/\text{м}^4]$ .

Также были сделаны попытки рассчитать устойчивость водной толщи оз. Верхнее Ершовское с солоноватым придонным слоем. Для плотностного расслоения пресных водоемов характерно устойчивое равновесие в плотностной стратификации. Температура в придонных слоях выше  $+4^{\circ}\text{C}$ , а увеличение плотности водных масс достигается за счет повышенной минерализации в придонных слоях.

К пресным озерам ББС, обследованным в ходе экспедиций 2014 и 2015 гг., относятся оз. Верхнее и оз. Водопроводное, а также оз. Верхнее Ершовское.

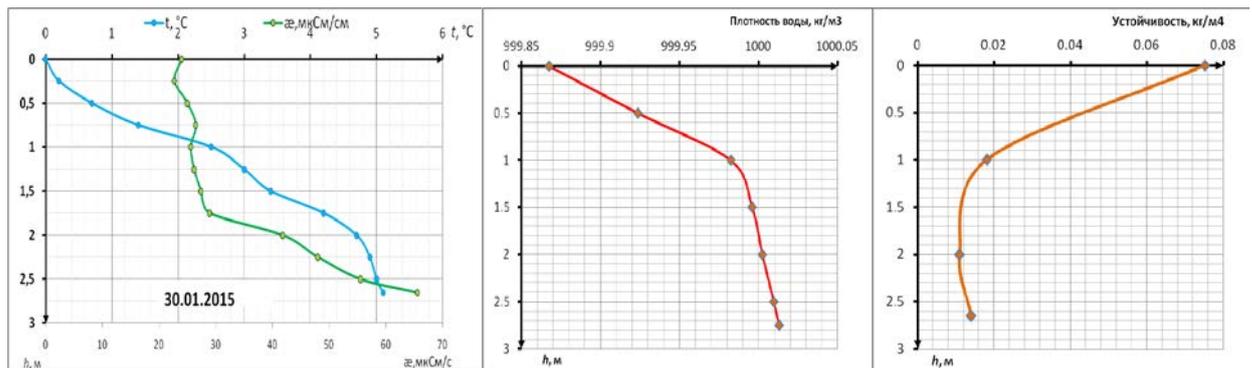
Оз. Верхнее болотного происхождения, находится на высоте 87,19 м БС (январь 2015). 30 января выполнено 7 станций гидролого-гидрохимической съемки (рис. 10.2).



**Рис. 10.2.** оз. Верхнее, оз. Водопроводное, расположение станций

Температура воды равномерно возрастает от  $0^{\circ}\text{C}$  на поверхности до  $5,2^{\circ}\text{C}$  в самой глубокой точке озера на глубине 2,7 м. Вероятнее всего, высокая температура воды в придонном слое вызвана постоянным поступлением подземных вод через дно из торфяной залежи. Электропроводность значительно возрастает от 25-30 мкСм/см в поверхностном слое до 65-70 мкСм/см с глубины 1,8-2,0 м до дна (рис. 10.3)

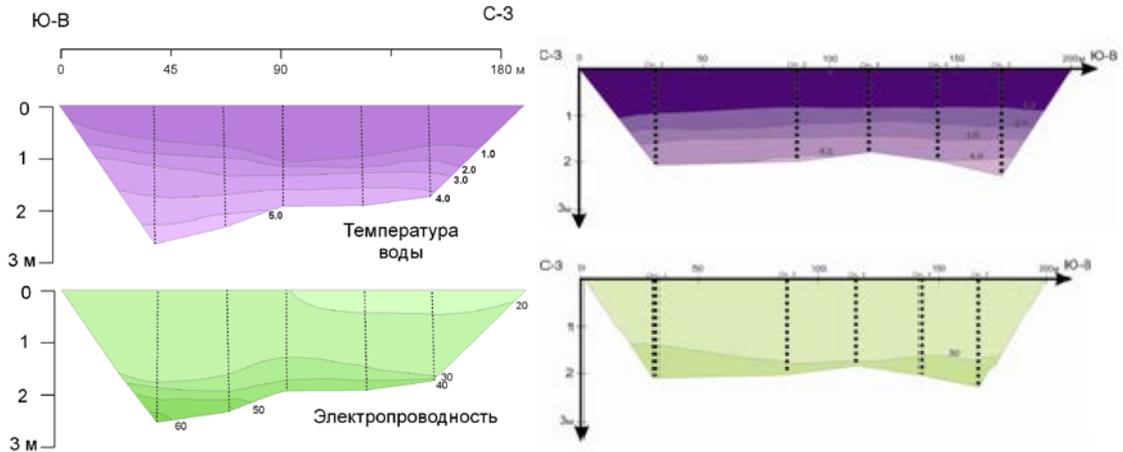
Для плотностной стратификации оз. Верхнее характерно устойчивое равновесие в период проведения съемки. Плотность воды возрастает с глубиной, а вертикальная устойчивость (градиент плотности) максимальна на поверхности (рис. 10.3).



**Рис. 10.3** оз. Верхнее. Характерное распределение температуры и электропроводности, плотности и устойчивости вод по вертикали

Распределение температуры и электропроводности по продольному профилю одно-типно и аналогично распределению по вертикали. Минимальные значения электропроводности наблюдались в 2015 г. на северо-западе и составляли 17,4 мкСм/см. Максимальные значения электропроводности (до 65,5 мкСм/см) измерены в юго-восточной наиболее глубокой его части (рис. 10.4 слева). По сравнению с зимним периодом 2014 года в 2015 году существенных различий в стратификации оз. Верхнее не отмечено. Исключение составляет более

теплая вода (более 5°C) в придонном слое в 2015 г, а также незначительно более высокая электропроводность. Это связано, вероятнее всего, с более интенсивным подземным питанием озера в связи с более мягкой зимой и продолжительным периодом нехарактерно высоких температур воздуха в январе 2015 г (рис.10.4 справа).

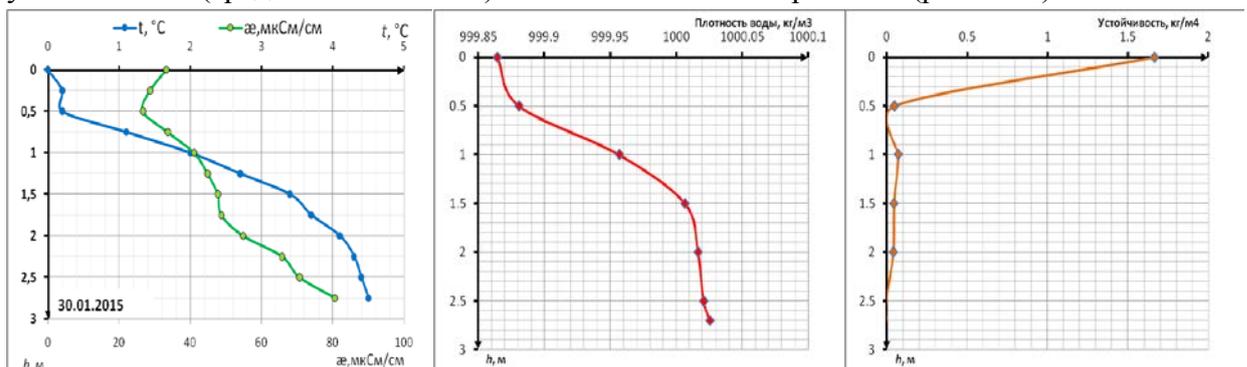


**Рис.10.4.** оз. Верхнее, изменение температуры и электропроводности воды по продольному профилю в зимний период 2015 г. (слева) и 2014 г (справа)

Оз. Водопроводное находится восточнее озера Верхнего. Особенностью озера Водопроводного в том, что из него берут воду для хозяйственных нужд станции. У этого озера также нет связи с морем.

Температура воды равномерно возрастает от 0°C на поверхности до 4,5°C в самой глубокой точке озера на глубине 2,85 м. Вероятнее всего, высокая температура воды в придонном слое вызвана постоянным поступлением подземных вод через дно из торфяной залежи. Электропроводность значительно возрастает от 25-30 мкСм/см в поверхностном слое до 80-85 мкСм/см в придонном (на самой поверхности опресненные талые воды).

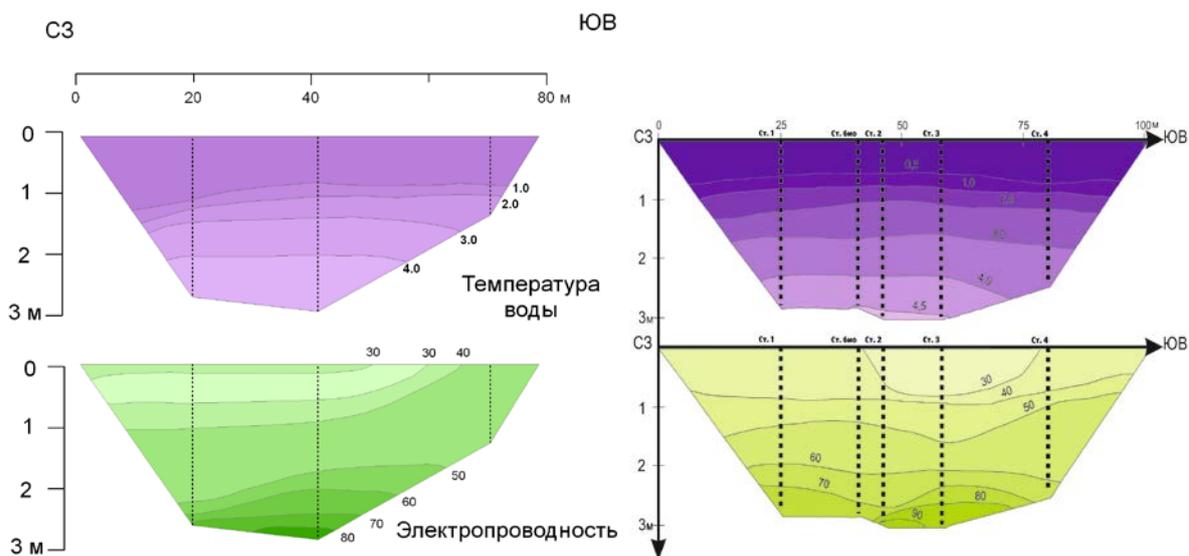
Для плотностной стратификации оз. Водопроводное характерно устойчивое равновесие в период проведения съемки. Плотность воды возрастает с глубиной, а вертикальная устойчивость (градиент плотности) максимальна на поверхности (рис. 10.5).



**Рис. 10.5.** оз. Верхнее. Характерное распределение температуры и электропроводности, плотности и устойчивости вод по вертикали

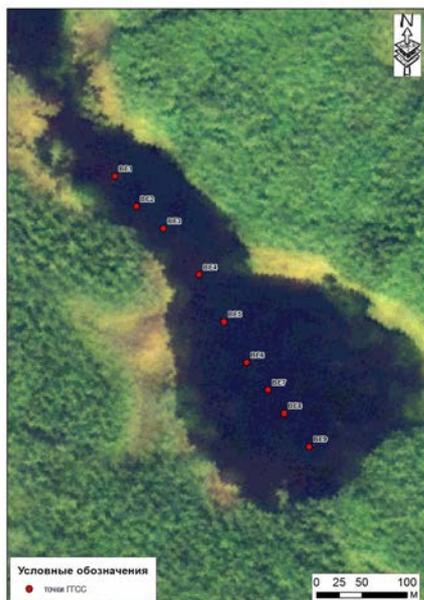
Распределение температуры и электропроводности по продольному профилю одно-типно и аналогично распределению по вертикали, а также аналогично распределению в оз. Верхнем. В распределении температуры и электропроводности в 2015 и 2014 г. значитель-

ных различий нет, кроме того, что в 2014 г. температура воды достигала  $4,5^{\circ}\text{C}$ , а на поверхности наблюдалась линза пониженной минерализации (рис. 10.6).



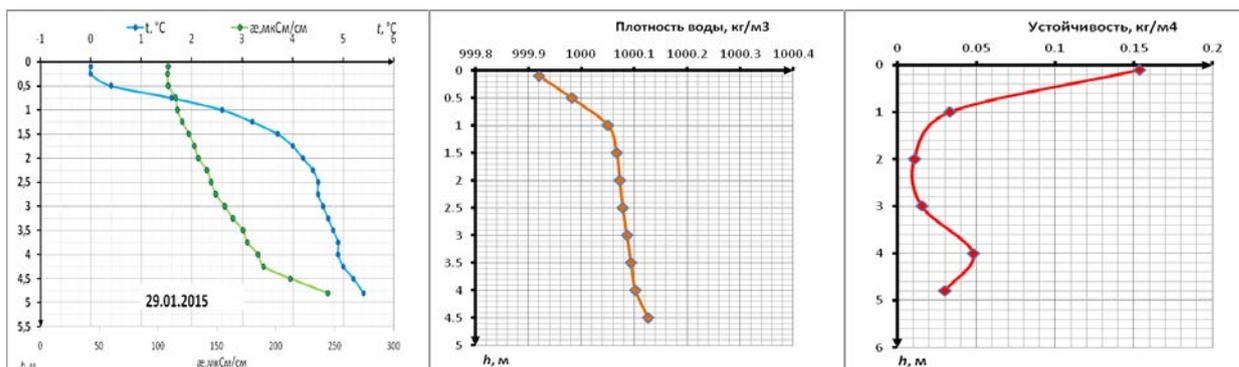
**Рис. 10.6.** оз. Водопроводное, изменение температуры и электропроводности воды по продольному профилю в зимний период 2015 г. (слева) и 2014 г. (справа)

оз. Верхнее Ершовское, в отличие от Нижнего Ершовского, является полностью пресным, поскольку находится выше над уровнем моря и связь с ним, даже частичную, утратило. В 2015 г. ГГСС выполнена на продольном профиле через все озеро (рис. 10.7).



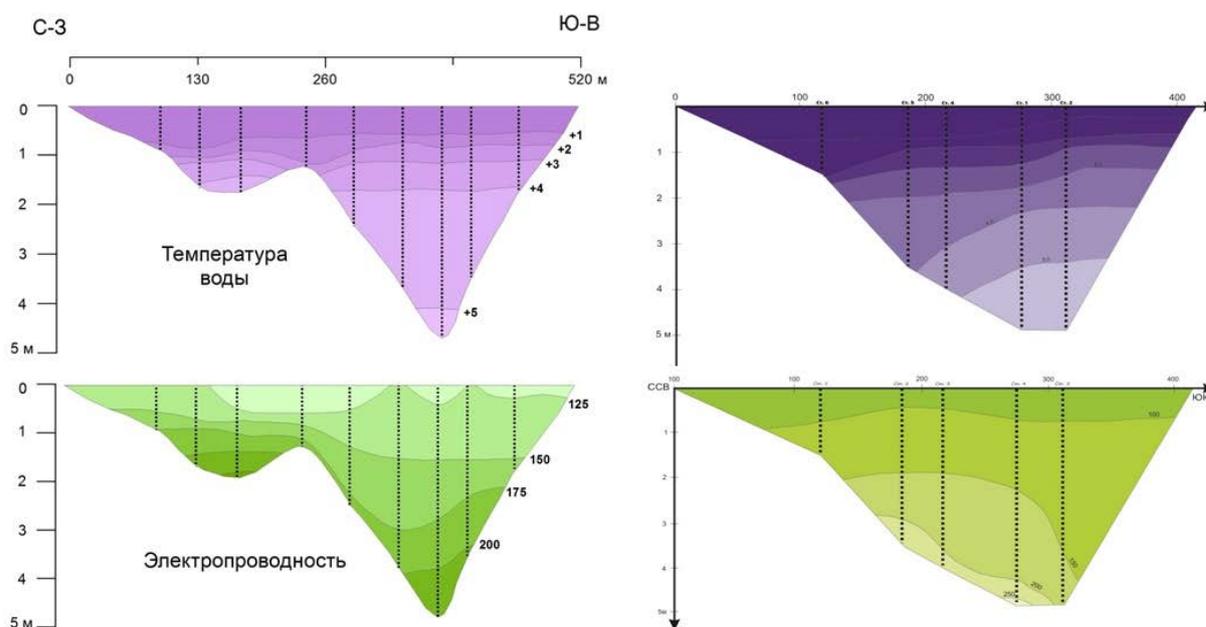
**Рис. 10.7.** оз. Верхнее Ершовское, расположение станций и характерное распределение температуры и электропроводности по вертикали

На поверхности озера температура воды около  $0^{\circ}\text{C}$ , с нарастанием глубины температура увеличивается до  $5,4^{\circ}\text{C}$ . Электропроводность озера изменяется от  $108 \text{ мкСм/см}$  на поверхности до  $243 \text{ мкСм/см}$  в придонном слое на глубине  $4,8 \text{ м}$ . Для плотностной стратификации оз. Верхнее Ершовское характерно устойчивое равновесие в период проведения съемки. Плотность воды возрастает с глубиной, а вертикальная устойчивость (градиент плотности) максимальна на поверхности (рис. 10.8).



**Рис. 10.8.** оз. Верхнее Ершовское. Характерное распределение температуры и электропроводности, плотности и устойчивости вод по вертикали

Распределение температуры и электропроводности по продольному профилю однотипно и аналогично распределению по вертикали, а также аналогично распределению в оз. Верхнем. В распределении температуры и электропроводности в 2015 и 2014 г. по продольному профилю значительных различий нет, максимальная температура в оба периода около  $5^{\circ}\text{C}$ , а электропроводность возрастает от поверхности к глубине до 200-240 мкСм/см (рис. 10.9).



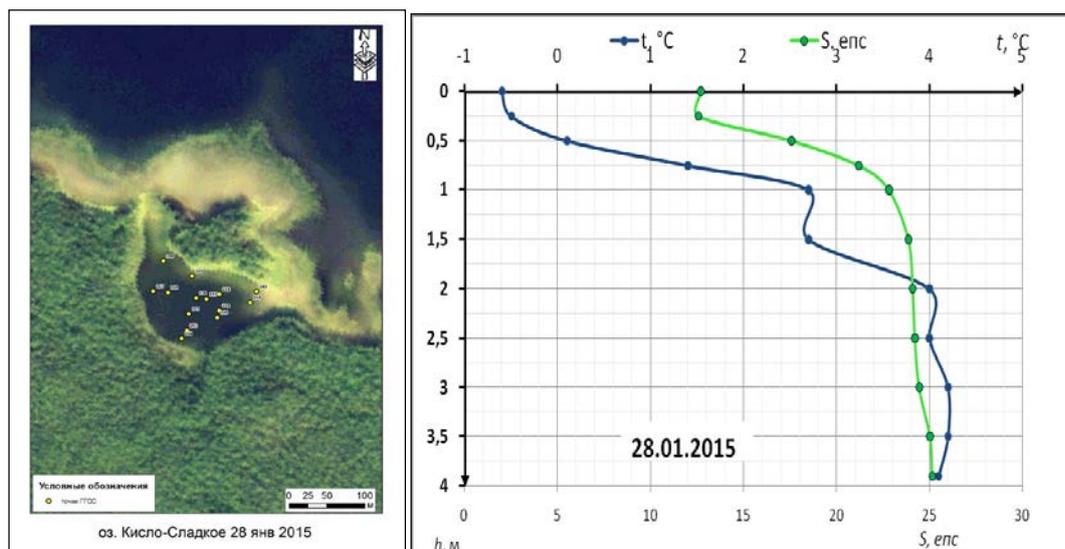
**Рис. 10.9.** оз. Верхнее Ершовское, изменение температуры и электропроводности воды по продольному профилю в зимний период 2015 г. (слева) и 2014 г. (справа)

### Солоноватые озера

В наиболее стратифицированных солоноватых озерах температура придонных слоев достигает  $4,5^{\circ}\text{C}$ ,  $6,1^{\circ}\text{C}$  и  $7,1^{\circ}\text{C}$  в Кисло-Сладком, Нижнем Ершовском и Трехцветном соответственно.

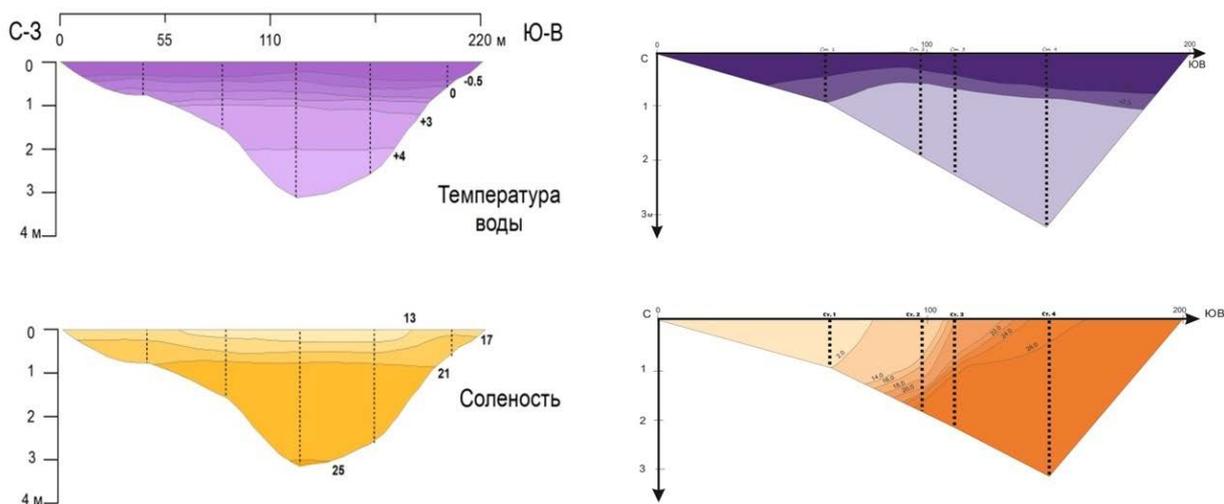
Оз. Кисло-Сладкое - наиболее изученное озеро полуострова Киндо. Озеро образовалось в результате отчленения акватории пролива между небольшим островом и северным коренным берегом полуострова Киндо. ГГСС в 2015 г. проводилась на 13 станциях (рис. 10.10 слева). Для оз. Кисло-Сладкое характерна обратная температурная стратификация, свойственная озерам в зимний период. Температура воды изменяется от  $-0,7^{\circ}\text{C}$  на по-

верхности до  $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в придонном слое. Соленость изменяется в пределах от  $12\text{‰}$  до  $25,2\text{‰}$  резким скачком в поверхностном слое (до 1 м) (рис. 10.10 справа).



**Рис. 10.10.** оз. Кисло-Сладкое, положение станций ГТСС (слева) и характерное распределение температуры и электропроводности по глубине озера (справа)

В 2015 г. распределение температуры и солености по продольному профилю субгоризонтальное, озеро солоноватое. Соленые воды (более  $24,7\text{‰}$ ) находятся в придонном слое мощностью порядка 0,2-0,3 м. Вероятно, гидравлической связи с морем не было продолжительное время, в отличие от зимнего периода 2014 г, когда соленая водная масса занимала восточную часть котловины озера (рис. 10.11).



**Рис. 10.11.** оз. Кисло-Сладкое, изменение температуры и электропроводности воды по продольному профилю в зимний период 2015 г. (слева) и 2014 г. (справа)

*Анализ внутригодового распределения температуры и солености выполнен по данным экспедиций НСО 2014 и 2015 г., а также производственной практики студентов кафедры. Вертикальная структура этого водоема испытывает сезонные и межгодовые изменения (рис. 10.12). Верхний слой толщиной 0,5 м, соответствующий эпилимниону континентальных водоемов, опреснен; в момент обследования в июне 2014 г. его соленость составляла около*

5%, после относительно жаркого лета поверхностная соленость увеличилась до 11%. Ветровое перемешивание, опреснение от небольшого вытекающего из болота ручья и от осадков сказываются только на верхнем метре глубины.

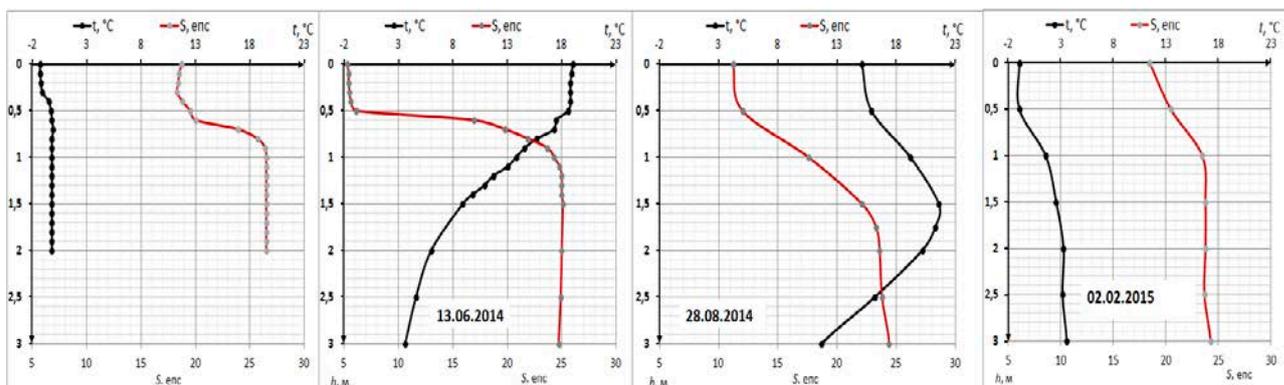


Рис. 10.12. Изменение солености и температуры воды в течение года в оз. Кисло-Сладкое

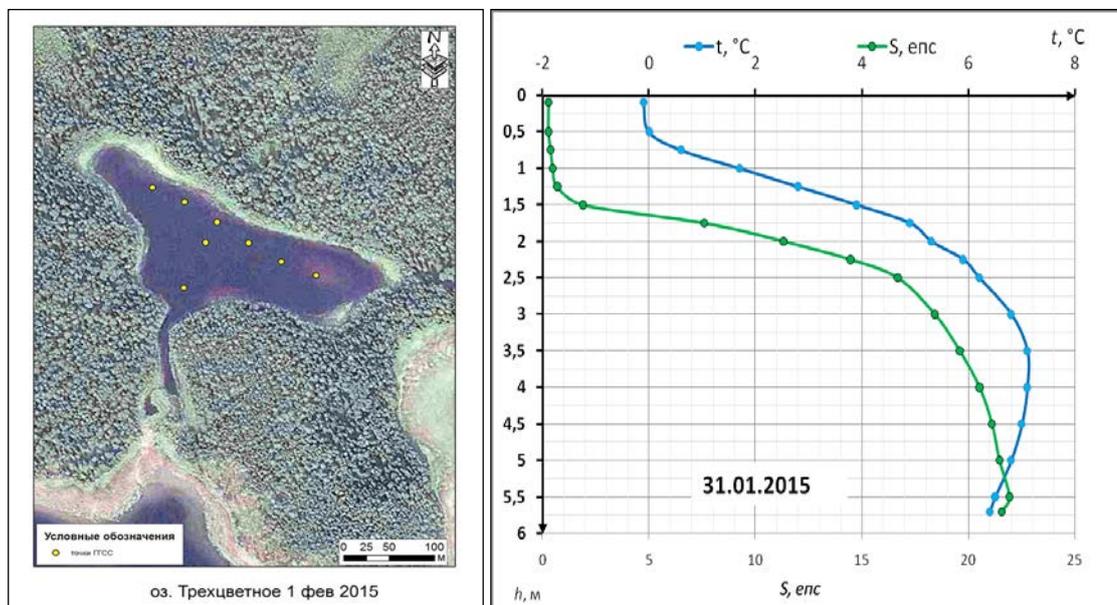
Для зимнего сезона соленость в поверхностном слое в 2014 г. изменяется от 10 до 12%, а в 2015г. от 12 до 17%. Такое распределение значений может быть связано с различным обменом морских и озерных водных масс в предшествующие осенние периоды. В зимний период значительный рост значений солености начинается на глубине около 0,3м, в то время как летом подобное явление наблюдается на глубине около 0,5 м.

В нижнем слое воды температура даже летом не превышает 11°C, хотя в вышележащих слоях озера и на поверхности моря она прогревается до 18-20°C и выше.

Соленость в нижней водной массе нередко оказывается более высокой по сравнению с вышележащей частью и с морем. Это может быть, с одной стороны, результатом поступления в придонные слои свежей морской воды зимой, когда соленость в море самая высокая, а с другой – следствием ледового высаливания и стекания ко дну рассола, высвобождающегося при замерзании морской воды. Многолетние круглогодичные наблюдения на этом водоеме показали, что такая вертикальная структура, характерна только для летнего периода. Осенью, в случае высоких приливов и нагонных ветров и поступления большого количества морской воды, может происходить промывка водоема, в результате чего он становится по всей толще однородным. Для солености и температуры в зимние периоды 2014 и 2015 гг. характерна устойчивая вертикальная структура, это говорит о том, что поступление морских масс в водоем в осенний период не происходило в больших масштабах, но то, что в толще озерной воды в приповерхностном слое температура опускается ниже 0 °C свидетельствует о том, что перемешивание все же было. Ледяной покров служит для этого водоема не только одной из причин опреснения поверхности, но, возможно, и фактором сезонной изоляции, создавая дополнительную преграду приливам. Максимальной мощности ледяной покров достигает во второй половине зимы (40-50 см).

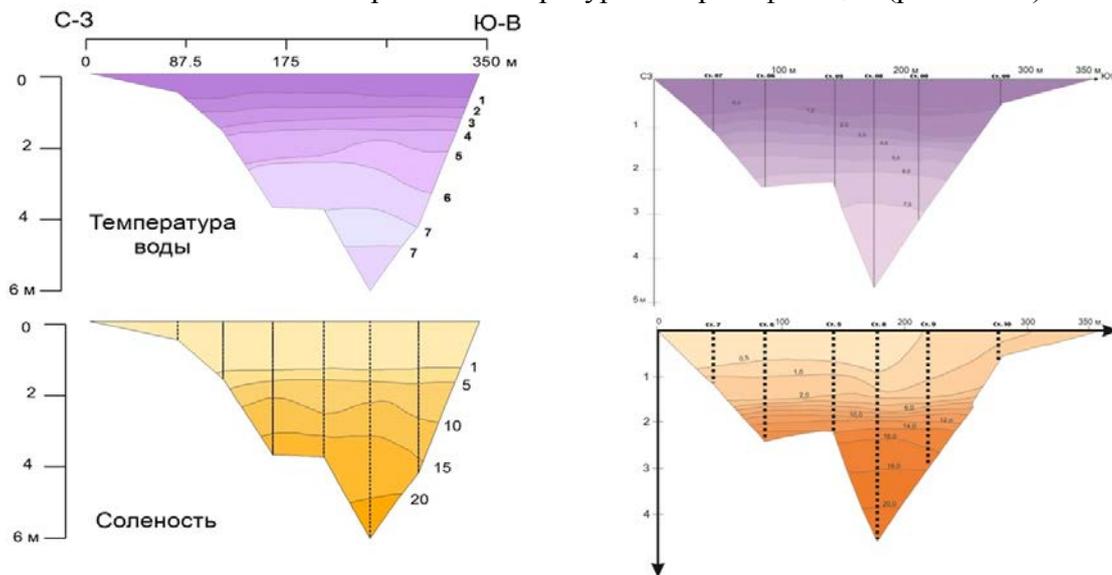
Оз. Трехцветное – небольшое озеро в вершине Пеккелинской губы, оно обладает наиболее значительными различиями в распределении солености с глубиной и нехарактерными чертами температурной стратификации. Это случай классического меромиктического водоема со слоем пресной или чуть солоноватой водой на поверхности до глубины 2 м, и соленой водой, которая проявляется резким скачком после глубины 2 м.

Озеро обладает наиболее значительными различиями в распределении солености с глубиной и нехарактерными чертами температурной стратификации. Во время его обследования 31.01.2015 г. максимальная температура в 7,1 °С измерена на глубине 3 м непосредственно ниже слоя скачка солености воды от значения менее 1‰ до 18-19‰. Ниже температура понижается до 5°С (рис. 10.13).



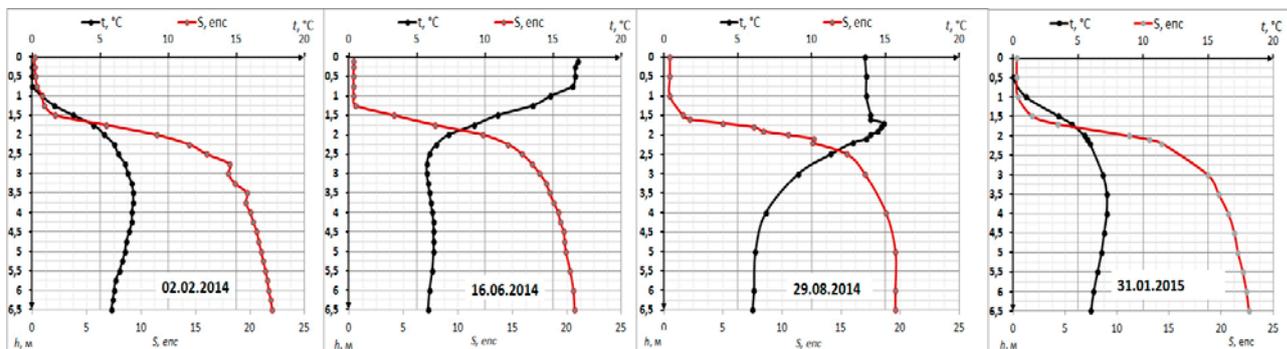
**Рис. 10.13.** оз. Трехцветное, положение станций ГГСС (слева) и характерное распределение температуры и электропроводности по глубине озера (справа)

Распределение температуры и электропроводности по продольному профилю одно-типно и аналогично распределению по вертикали. «Трехслойная» структура и наличие устойчивого хемоклина были характерны для Трехцветного озера зимой 2014 и 2015 гг. По сравнению с зимним периодом 2014 г. изменений в величинах и в распределении солености нет. В распределении температуры есть различие - в 2015 г. В придонном слое небольшой мощности (0,7-0,9 м) наблюдалась более низкая температура (6,5-7°С). Таким образом, в придонном слое в 2015 г. была прямая температурная стратификация (рис. 10.14).



**Рис. 10.14.** оз. Трехцветное, изменение температуры и электропроводности воды по продольному профилю в зимний период 2015 г. (слева) и 2014 г. (справа)

Анализ внутригодового распределения температуры и солености, выполненный по данным экспедиций НСО 2014 и 2015 г., а также производственной практики студентов кафедры, показал, что вертикальная стратификация оз.Трехцветного сохраняется постоянной в течение года (рис. 10.15).



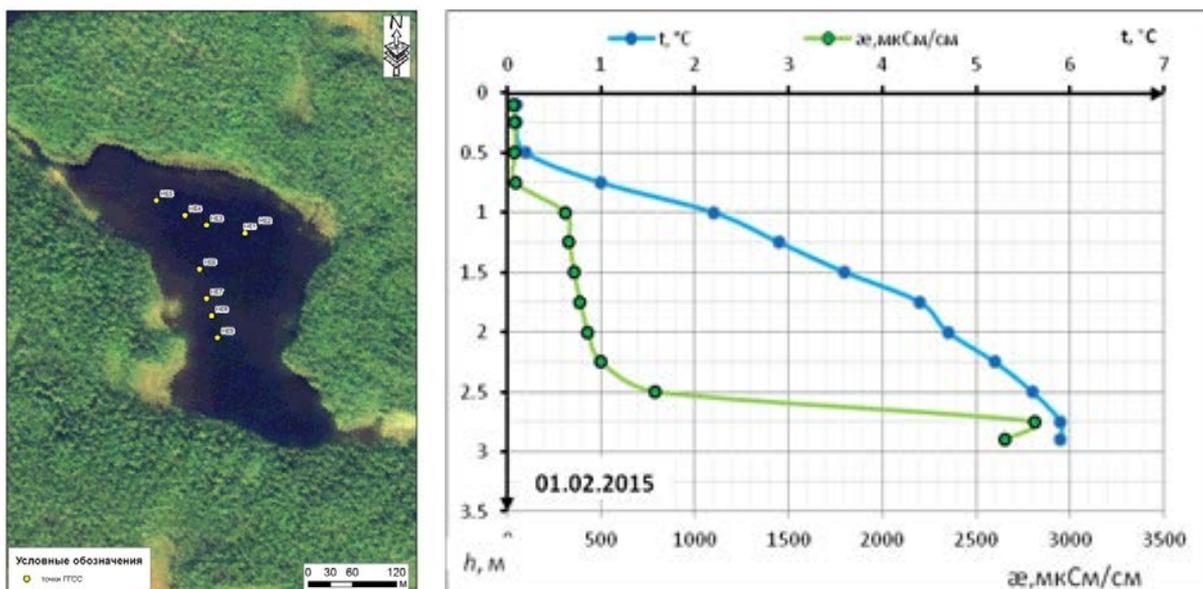
**Рис. 10.15.** Вертикальные профили температуры и солености в разные сезоны 2014 г. и в зимний период 2015 г. в оз. Трехцветном

Пресный слой располагается до глубины 1 м, застойная соленая водная масса начинается с глубины 1,5 м, а между ними находится узкий пикноклин с резкими физико-химическими градиентами. Летом он приходится на зону 1,5 – 1,75 м, осенью, когда за счет осадков миксолимнион становится толще – на 1,8 – 1,9 м. Температура воды в придонных слоях в течение всего года постоянна и составляет 5,5-6,0°C. Поверхностный слой после схода льда постепенно прогревается до температуры 20-22°C. Начиная с конца лета, наблюдается слой относительно теплой по сравнению с поверхностью воды примерно на глубине 2-3 м.

Сохранение в течение всего года устойчивой вертикальной структуры связано с отсутствием обмена с морем.

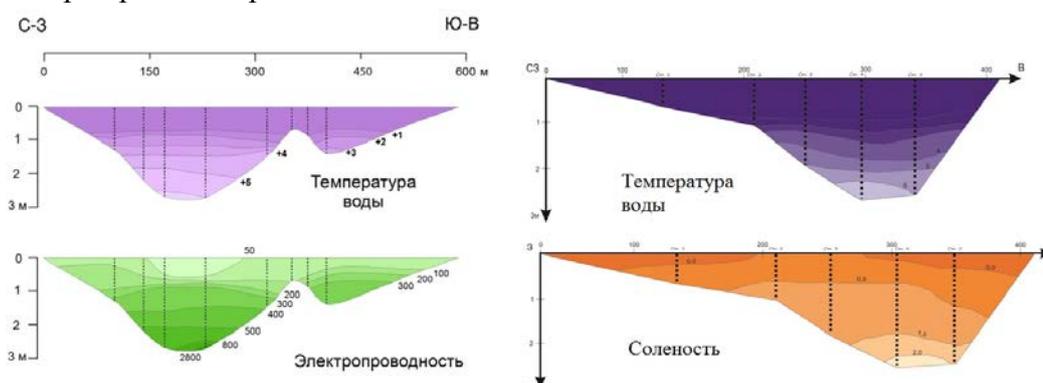
оз. Нижнее Ершовское по результатам ГСС 01.02.2015 было пресным почти во всей толще, за исключением полуметрового придонного солоноватого слоя. Температура воды на поверхности озера 0,1-0,3°C. Электропроводность измерялись от 100 -115 мкСм/см до 2680 мкСм/см.

В отличие от озер Кисло-Сладкого и Трехцветного, в Нижнем Ершовском на фоне относительно равномерного роста температуры с глубиной практически вся толща пресная, а в придонном слое минерализация возрастает практически на порядок (рис. 10.16).



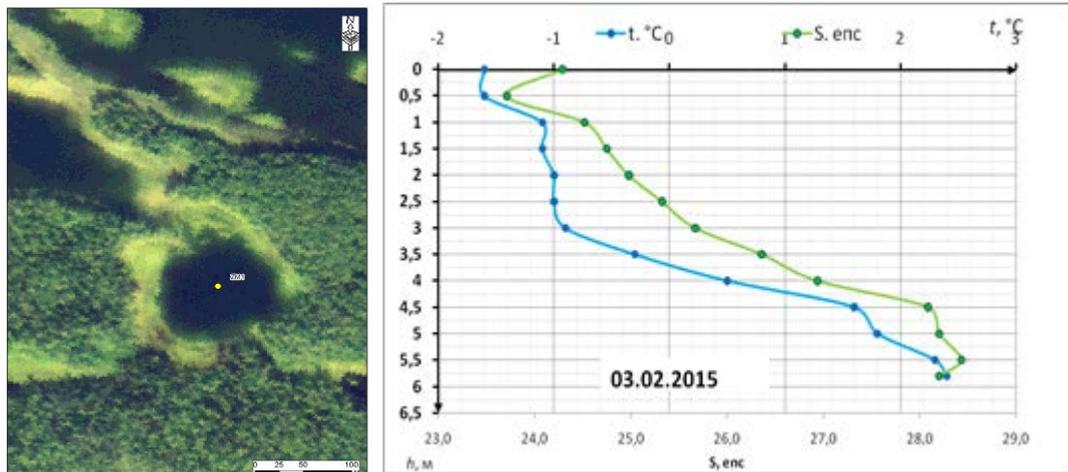
**Рис. 10.16.** оз. Нижнее Ершовское, положение станций ГТСС (слева) и характерное распределение температуры и электропроводности по глубине озера (справа)

По продольному профилю в 2015 г. распространение температуры и электропроводности субгоризонтальное. В температурной стратификации 2014 и 2015 года различий практически нет, но в распределении электропроводности произошли существенные изменения соленоватого слоя, приведшие к почти полному опреснению озера (рис. 10.17). Мощность придонного соленоватого слоя уменьшилась с 2 м в 2014 г. до 0,5 м в 2015 г. Это связано, вероятнее всего, с более интенсивным питанием озера в связи с более мягкой зимой и продолжительным периодом нехарактерно высоких температур воздуха в январе 2015 г, и разбавлением воды озера пресным притоком.



**Рис. 10.17.** оз. Нижнее Ершовское, изменение температуры и электропроводности воды по продольному профилю в зимний период 2015 г. (слева) и 2014 г. (справа)

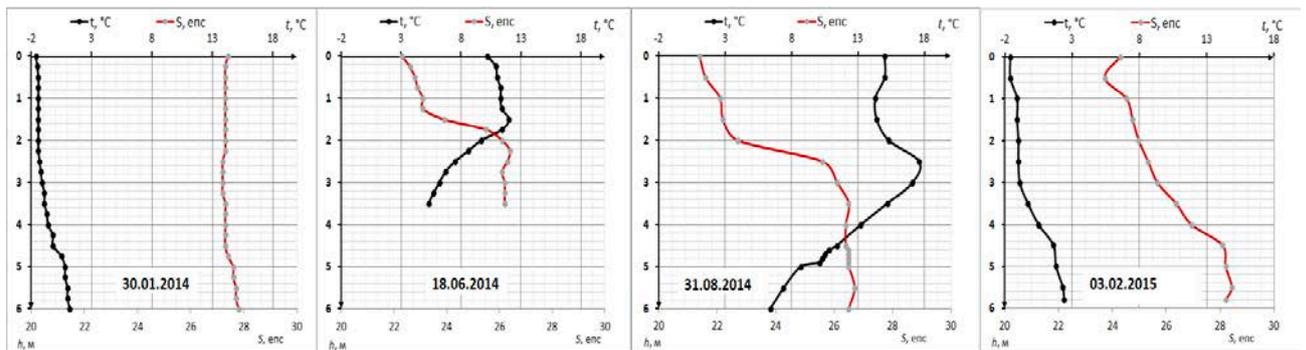
**Соленое озеро** – лагуна на Зеленом мысу отличается незначительной температурной стратификацией. Температура возрастает от  $-1,6^{\circ}\text{C}$  на поверхности до  $2,4^{\circ}\text{C}$  у дна на глубине 5,8 м. Аномалия данного озера состоит в том, что при морском составе его соленость возрастает от 23,7‰ на поверхности до 28,4‰ на дне, достигая на глубине 3,5 м фоновой морской солености в 26,5‰ (рис. 10.18). Однако, этот вывод необходимо проверить в дальнейшем, поскольку различия в солености небольшие, и результат может быть неустойчивым.



**Рис. 10.18.** оз. Лагуна на Зеленом мысу, положение станций ГГСС (слева) и характерное распределение температуры и электропроводности по глубине озера (справа)

Одно из отличий водоема на Зеленом мысу от оз.Кисло-Сладкого – более резкие градиенты. Придонная вода в лагуне более холодная, чем в нижнем слое оз. Кисло-Сладкого, и более соленая.

Анализ внутригодового распределения температуры и солености, выполненный по данным экспедиций НСО 2014 и 2015 г., а также производственной практики студентов кафедры, показал, что для летнего периода характерна устойчивая структура распределения солености, которая увеличивается с глубиной, и температуры, которая соответственно уменьшается (рис. 10.19). В приповерхностном слое на глубине 1 м значение солености составляет около 22 – 23‰, в то время как в придонном слое около 26–27‰. Изменение этого гидрологического показателя по всей толще водных масс в лагуне по сравнению с оз.Кисло-Сладким (11‰ у поверхности, 25‰ в придонном слое) за летний период меньше. Это связано с орографическими различиями водосборов этих озер, количеством поступающей пресной воды, особенностями взаимосвязи с морем.



**Рис. 10.19.** Вертикальные профили температуры и солености в разные сезоны 2014 г. и в зимний период 2015 г. в лагуне у Зеленого Мыса

Так же, как и в оз. Кисло-Сладком, зимняя вертикальная стратификация в лагуне на Зеленом мысу зависит от высоты осенних сизигийных приливов, которая влияет на степень промывки водоема. Распределение солености и температуры в зимний период 2014 г. близко к однородному, это свидетельствует о том, что в предшествующий осенний период было велико влияние на водоем морских водных масс. Это проявилось в слабо выраженной вертикальной стратификации вышеуказанных гидрологических характеристик.

Вертикальная структура температуры и солености зимой 2015 г. выражена четко, т.е. осеннее поступление морской воды в лагуну в 2014 г. было меньше, чем в 2013 г.

Придонный соленый слой в течение всего лета сохраняет постоянство: соленость в нем не меняется, а температура растет лишь незначительно: за все лето она поднимается всего на 4,5°C.

В результате анализа полученных материалов можно сформулировать краткие итоги:

1. В зимний период 2015 года в озерах окрестности ББС наблюдается высокая температура в придонных слоях - выше 4°C. В пресных озерах она достигает 5,2°C (оз Верхнее). В наиболее стратифицированных солоноватых озерах температура придонных слоев достигает 6,1°C и 7,1°C в Нижнем Ершовском и Трехцветном соответственно.

2. Пресные озера - Верхнее, Водопроводное и Верхнее Ершовское, обладают устойчивой плотностной стратификацией, несмотря на повышенную температуру воды в придонных слоях. Это связано с повышенной минерализацией, вероятно связанной с притоком подземных вод через дно.

3. В зимний период 2015 года для большей части озер существенных различий в гидрологическом состоянии не выявлено по сравнению с аналогичным периодом 2014 года. Однако, горизонтальная однородность в оз. Кисло-Сладкое в 2015 году не соответствует условиям 2014 года, когда соленость снижалась в близком к горизонтальному направлению от перемычки к материковой части продольного профиля озера. Существенные различия отмечены в Нижнем Ершовском озере. Мощность солоноватого слоя уменьшилась от значения около 2 м в 2014 году до менее, чем 0,5 м в 2015 году. Наименьшие различия характерны для пресных озер.

В ходе проведения гидролого-гидрохимических съемок озер были измерены температура, электропроводность и рН озерных и речных вод. Значения рН определялись при помощи портативного рН-метра фирмы АКВИЛОН, снабженного электродом с датчиком термокомпенсации. Точность определения 0,01 ед. рН. Температура и электропроводность воды на разных глубинах измерялась с помощью полевых кондуктометров YSI Pro30. Отбор проб воды осуществляли в точке с наибольшей глубиной. Пробы воды с фиксированной глубины отбирали с помощью силиконовой трубки, закрепленной на калиброванном тросе, и портативного насоса Whale Premium Submersible Pump GP1352 (Ирландия). Во время зимней студенческой экспедиции из 7 озер были отобраны для анализа: проб воды - 21, снега - 5 и льда - 5, который затем был разделен на снежный и кристаллический. Выполненные определения позволили выявить особенности химического состава водных масс озер в зимний период, подтвердить выделенные ранее характерные группы озер, оценить временные изменения в химическом составе воды.

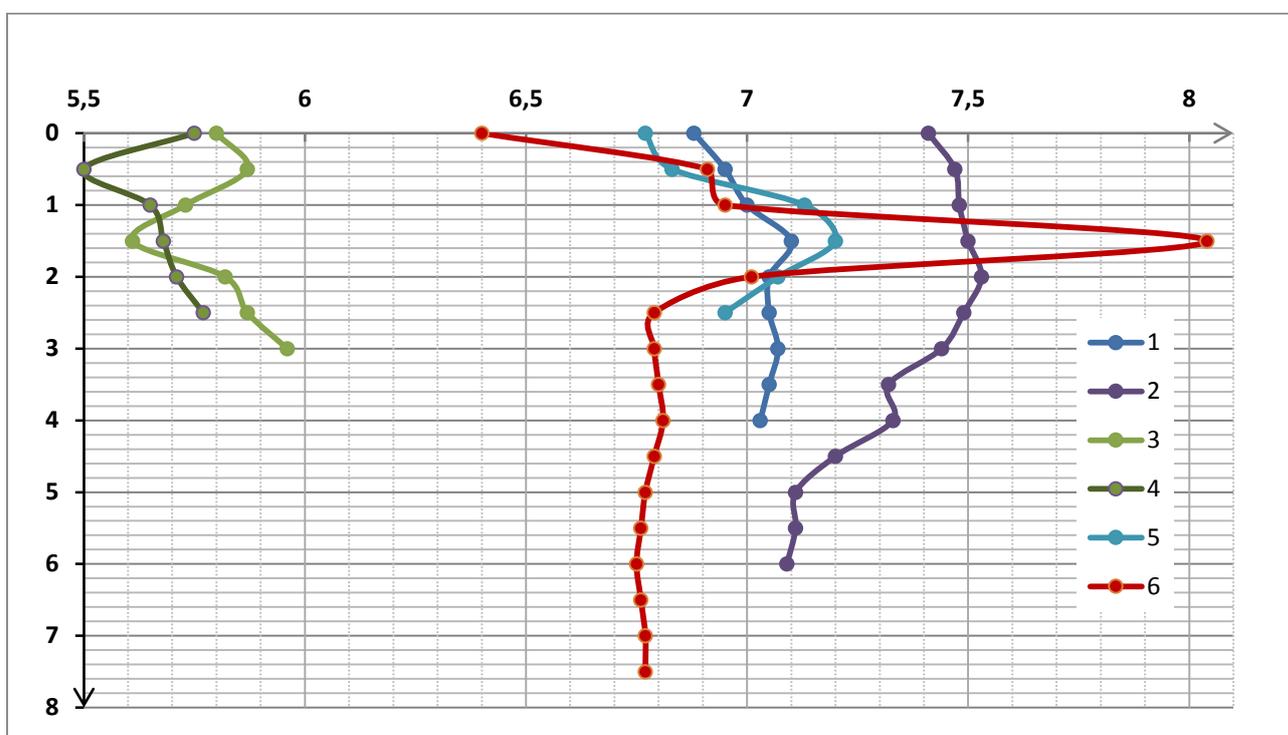
На биостанции была организована временная гидрохимическая лаборатория, в которой методом Винклера [10] определялась концентрация растворенного в воде кислорода. Определение содержания биогенных элементов (минерального, валового фосфора и кремния) проводилось согласно методикам, изложенным в [11], цветности воды согласно [12]. Концентрации растворенных фосфатов и валового растворенного фосфора (по схеме Сугавары) определялись методом Морфи-Райли. При определении общего фосфора проба окислялась персульфатом калия с последующим колориметрированием образовавшегося фосфорномолибденового комплекса [11]. Минимальная определяемая концентрация 0.005 мгР/л. Точность определения при концентрации 0.06 мг/л составляет 1.5 %. Растворенный кремний был определен по методу Динерта-Ванденбульке (желтый кремнемолибденовый комплекс). Относительная ошибка метода при концентрации кремния 1.0-1.5 мг/л равна 2.5 %, при концентрации свыше 4.0 мг/л возрастает до 6 % [11].

Лабораторный анализ содержания главных ионов выполнен в лаборатории кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова [11]. Содержание хлоридов и сульфатов в воде измерялось методом жидкостной ионной хроматографии (ионный хроматограф «Стайер»). Катионный состав, а также содержание сульфатов и хлоридов в снежных и ледяных пробах определены методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель» [13]. Точность метода для определения концентраций хлоридов в диапазоне от 0,5 до 5 мг/л составляет 24%, для определения сульфатов в диапазоне 0,5–5 мг/л – 20%, а в диапазоне 5–200 мг/л – 10%. Концентрация ионов кальция и магния (общая жесткость) определялась объемным трилонометрическим методом, чувствительность которого составляет 0,2 мг-экв/л, точность 0,2 мг-экв/л при общей жесткости до 10 мг-экв/л [3]. Суммарное растворенное железо в воде определено методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС). Предел обнаружения элемента – 0.3 мкг/л [14].

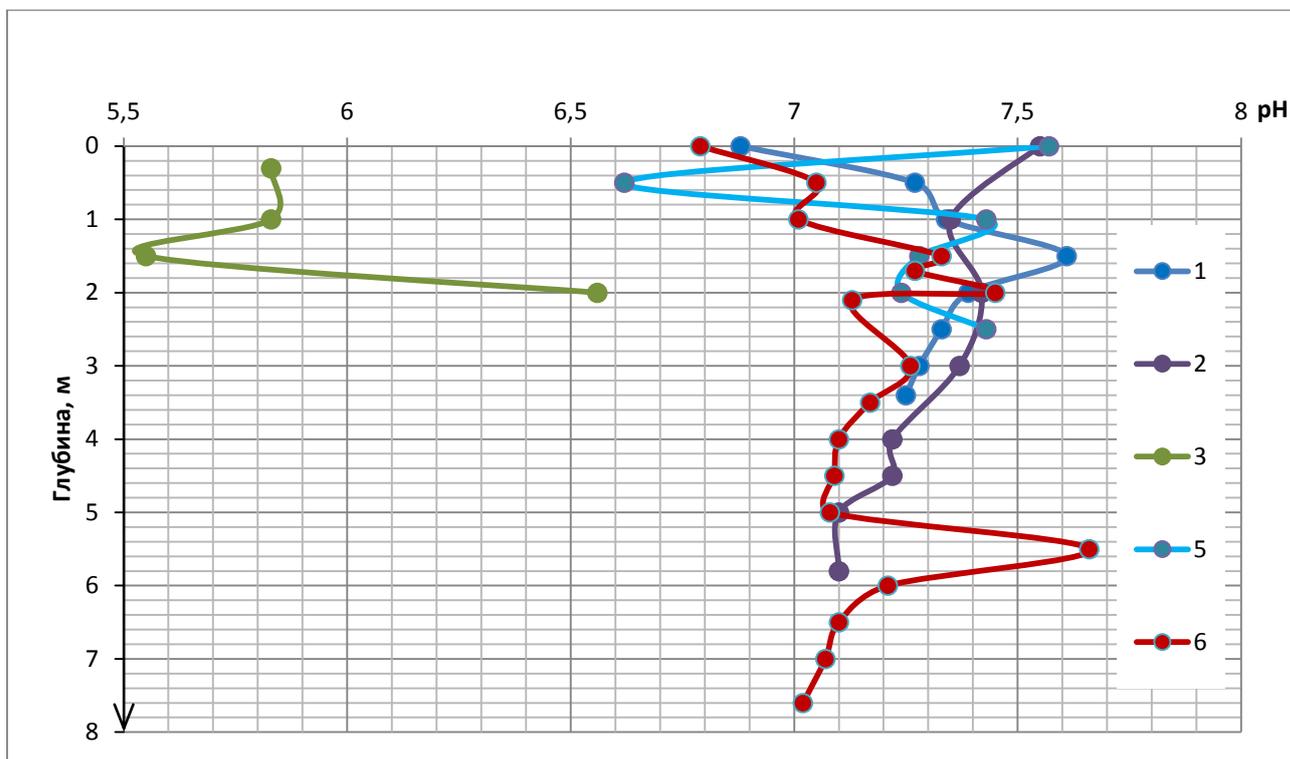
Результаты химического анализа проб воды, снега и льда исследованных озер представлены в приложении 1. Анализ результатов химического состава воды, полученных зимой 2014 г. позволил разделить озера на три группы. К первой группе относятся Верхнее, Водопроводное и Верхнее Ершовское - озера с пресными слабокислыми и нейтральными водами. Ко второй группе были отнесены Кисло-Сладкое озеро и озеро-лагуна на Зеленом Мысу. Эти озера испытывают наибольшее влиянием моря и, как следствие, их солевой состав и кислот-

ность вод мало отличается от характеристик беломорских вод. В особую группу входят озера Трехцветное и Нижнее Ершовское. Рассмотрим особенности химического состава воды каждой группы озер подробнее.

**Активная реакция среды (рН).** В меромиктических озерах, расположенных на полуострове Киндо, зимой 2015, также как и зимой 2014 года, воды имели слабокислую и нейтральную реакцию среды. Величина рН озерных вод во время экспедиции 2014 г. изменялась в диапазоне от 5,5 до 8,1, в тот же период 2015 г. – в диапазоне от 5,4 до 7,7 единиц рН (рис. 11.1 и 11.2). Заметны изменения водородного показателя для четырех рассматриваемых озер: Верхнего, Кисло-Сладкого, Нижнего Ершовского и Трехцветного. Воды озер Верхнее и Водопроводное - слабокислые. Очевидно, что в питании этих озер велика доля атмосферных осадков, выпадающих на их акватории и водосборы и формирующих химический состав вод. Водосборы озер заболочены, что обуславливает поступление с поверхностным стоком гуминовых кислот и, как следствие, пониженные величины рН. Вертикальное распределение рН в озерах Верхнее и Водопроводное очень схоже.



А) 2014 г.



Б) 2015 г.

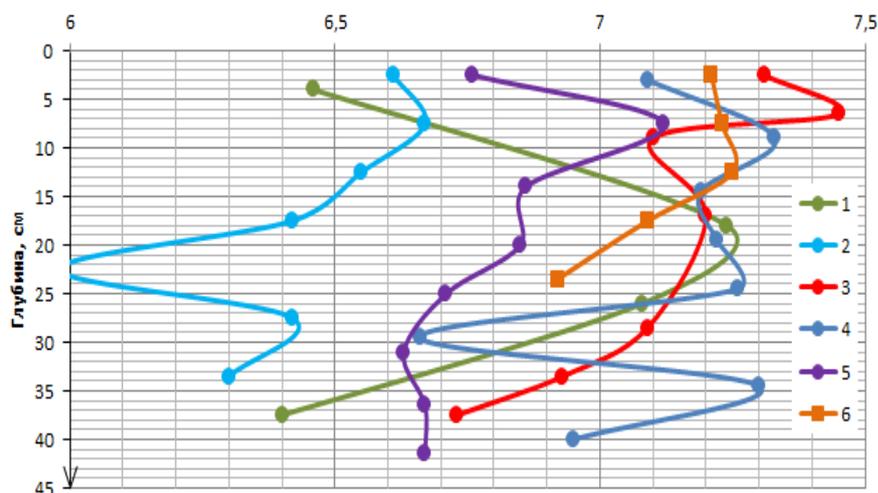
**Рис. 11.1.** Вертикальное распределение pH в воде озера п-ва Киндо зимой 2014 (а) и 2015 г. (б) гг. (1 – Кисло-Сладкое; 2 – озеро на Зеленом мысу; 3 – Верхнее; 4 – Водопроводное; 5 – Нижнее Ершовское; 6 – Трёхцветное)

Кислотность воды, по данным 2015 г. меняется от 5,4 до 6,6, увеличиваясь ко дну, где прослеживается влияние подземных вод, питающих озера и характеризующихся отличными от болотных вод гидрохимическими показателями. При сравнении с данными прошлого года подтверждаются более низкие величины pH во всей водной толще оз. Водопроводное (рис. 11.1).

В озерах В. и Н. Ершовские, Трёхцветное, Кисло-Сладкое и в лагуне на Зеленом мысу воды нейтральные. В Ершовских озерах pH варьирует от 6,5 до 7,6. По сравнению с 2014 г. несколько увеличился показатель pH вод озера Н. Ершовское. Довольно сложно объяснить резкое понижение pH (с 7,6 до 6,6) на горизонте 0,5 м. Не исключено, что при измерении показателя была допущена ошибка. В формировании химического состава воды этого водоема определенную роль играет гидравлическая связь с расположенным выше пресным озером В.Ершовское, кислотность воды которого практически не изменилась по сравнению с зимой 2014 г. (pH =6,56–6,7).

В оз. Трёхцветное на фоне уменьшения pH от поверхности ко дну (6,8-7,02) на глубине 2 м отмечено увеличение водородного показателя (до 7,42). На этой же глубине в 2014 году показатель pH был равен 8,04. Также в этом году отмечено увеличение водородного показателя на глубине 5,5 м до 7,66, но из-за недостатка данных мы не можем сказать, чем это вызвано. В оз. Кисло-Сладкое показатель pH меняется значительно (от 6,9 до 7,4) и не так равномерно по сравнению с 2014 г. Наибольшее значение, равное 7,6, достигается на глубине 1,5 м. В вертикальном распределении pH воды оз. Зеленого мыса от поверхности ко дну происходит уменьшение pH от 7,57 до 7,1, особенно заметное в анаэробной зоне на глубинах ниже 4 м. Вертикальное распределение pH за 2014 и 2015 гг. схоже.

В 2015 г. впервые были проведены подробные измерения pH снега и озерного льда на реперных вертикалях озер. В целом, лёд со всех озер (как и их воды) имел слабокислую и нейтральную реакцию среды. Значения pH для льда обследованных озер изменялись в диапазоне от 6 до 7,45 (рис. 11.3). При анализе данных просматривается общая тенденция – снижение водородного показателя от верхних слоев льда к нижележащим. Необходимо заметить, что на самой поверхности льда почти на всех озерах присутствовал слой воды в несколько сантиметров, сформировавшийся из-за просадки льда под тяжестью снега. Из-за этого значения pH самого верхнего слоя льда понижены.



**Рис. 11.2.** Вертикальное распределение pH во льду озер п-ва Киндо и Белого моря зимой 2015 г. (1 – Верхнее; 2 – Нижнее Ершовское; 3 – Трехцветное; 4 – Кисло-Сладкое; 5 – озеро на Зеленом мысу; 6 – Белое море)

В толще льда озера Верхнее наблюдался скачок значений pH от 6,5 до 7,24 на 15 см от поверхности льда, что может быть связано с наличием внутри льда прослойки воды, где вероятно, несмотря на зимний период, могут жить криофильные водоросли. Лимитирующим фактором для них является скорее отсутствие света. Кроме того, этот горизонт представляет собой границу между кристаллическим и снежным льдом. Для льда оз. Нижнего Ершовского соответствуют наименьшие значения pH среди проанализированных озерных кернов. Кислотность льда меняется от 6,61 на поверхности до 6,3 в нижнем слое. Резкое уменьшение водородного показателя на 22 см обусловлено наличием пузырьков во льде, содержащих воду. Величины pH льда озер на Зеленом мысу и Трехцветного близки к нейтральным и имеют схожее распределение по слоям. Для оз. Кисло-Сладкого характерно неупорядоченное распределение значений pH, обусловленное структурой льда. Однако общая тенденция к уменьшению водородного показателя к нижним толщам сохранена (7,09- 6,95). Водородный показатель льда Белого моря менялся от 7,21 на поверхности, где была вода, до 6,92 в нижних слоях.

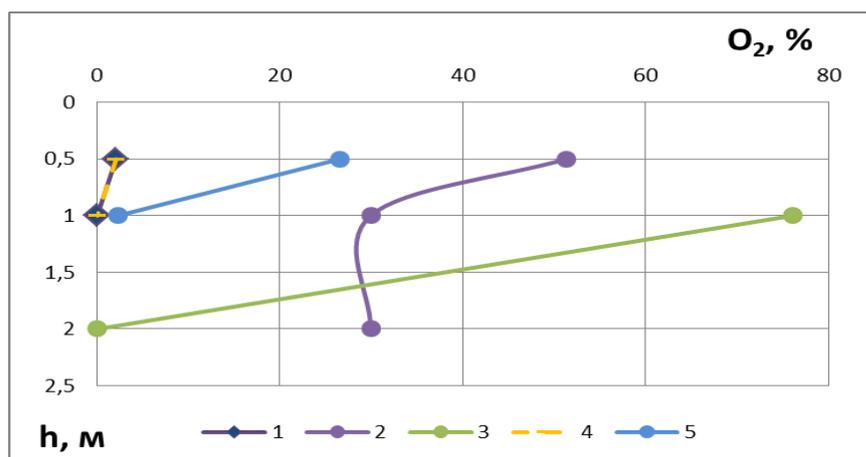
Распределение pH в снеге на поверхности озер (рис. 11.3) может быть обусловлено такими факторами как: локальные различия в химическом составе осадков, выпадающих на акватории озер; трансформация состава и, как следствие, изменение pH снега по мере его «старения». Кроме того, на величину водородного показателя в толще снега оказывает влияние нижележащие слои льда, а также озерная вода, «выдавленная» на поверхность ледового покрова. В среднем, значения pH для свежеснегавшего снега равны 5,0-5,5, что соответствует величинам, отмеченным в толще снега на акваториях озер Верхнее, Нижнее Ершовское и

озера-лагуны на Зеленом мысу (повышенные значения рН в нижней части толщи снега обусловлены наличием слоя озерной воды на льду).



**Рис. 11.3.** Вертикальное распределение рН в снеге озер п-ва Киндо зимой 2015 г. (1 – Кисло-Сладкое; 2 – Верхнее; 3 – Нижнее Ершовское; 4 – Трехцветное; 5 – озеро на Зеленом мысу)

**Растворенный кислород.** Содержание растворенного  $O_2$  определялось в семи озерах: Кисло-сладкое, озеро на Зеленом Мысу, Верхнее, Водопроводное, Верхнее и Нижнее Ершовское, Трехцветное (рис. 11.4). Толщина льда на озерах была в районе 40 сантиметров. Пробы воды отбирались на горизонтах 0,5 и 1 метр и далее по необходимости через каждый метр. Отбор проб прекращался при обнаружении сероводорода в воде. Пробы фиксировались на месте и транспортировались в гидрохимическую лабораторию, оборудованную на ББС, где концентрация растворенного кислорода определялась методом Винклера.



**Рис. 11.4.** Вертикальное распределение  $O_2$  (%) в воде озер п-ва Киндо зимой 2015 г. (1 – Кисло-Сладкое; 2 – озеро-лагуна на Зеленом Мысу; 3 – Верхнее; 4 – Верхнее Ершовское; 5 – Нижнее Ершовское)

Зима 2015 г. оказалась весьма «бедной» на содержание кислорода в водной толще озер. Редко в каких озерах кислород наблюдался на глубине больше 0,5 м. Так, например, в Водо-

проводном и Трехцветном озерах концентрация растворенного кислорода во всех отобранных пробах оказалась равна нулю. Содержание растворенного  $O_2$  изменялось от 10,6 мг/л (относительное содержание  $O_2$  составило более 76%) в поверхностном горизонте на глубине 1 м. оз. Верхнее до аналитического нуля уже на 2 м. Ледяной покров, процессы деструкции органических веществ, содержащихся в воде этих озер приводят к отсутствию кислорода уже на глубине 2 м в Верхнем озере и во всей толще Водопроводного озера и возникновению гипоксии в озерах. В другом пресном озере – Верхнее Ершовское, растворенный кислород наблюдался только на горизонте в 0,5 м (относительное содержание  $O_2$  – 2,1%), на глубине же в 1 м он уже отсутствовал.

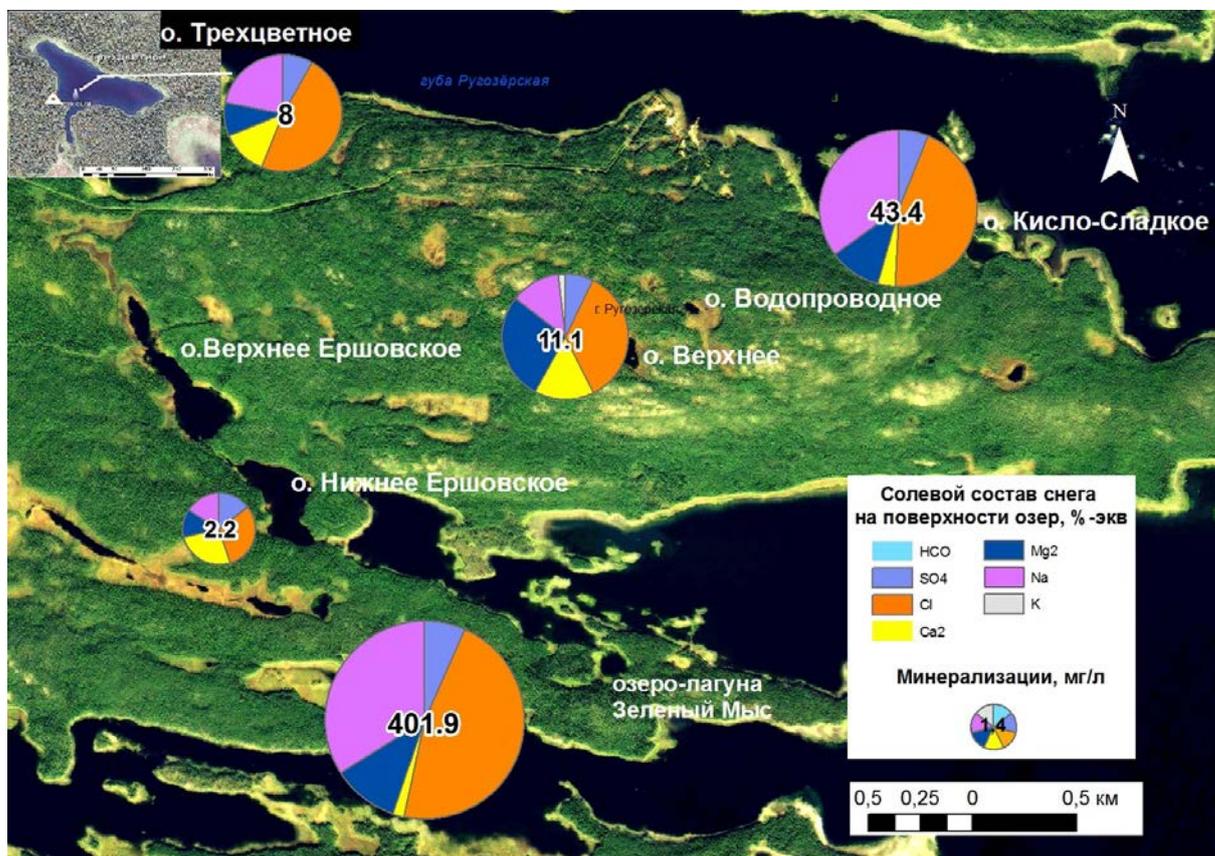
Для четырёх изучаемых озёр (Кисло-Сладкое, озеро-лагуна на Зеленом Мысу, Трехцветное и Нижнее Ершовское) характерно наличие сероводорода, который появляется в воде после исчерпания кислорода на окисление органических веществ. Его содержание нарастает в направлении от поверхности к придонным горизонтам, где и определены наиболее высокие для каждого водоема концентрации  $H_2S$  [15]. В этих озерах наблюдается стратификация, вызванная различиями в солености и, как следствие, в плотности различных слоев водоемов. От озера к озеру устойчивость этой стратификации различна. Так, например, для Трехцветного и Нижнего Ершовского озер эта стратификация наиболее устойчивая, а для Кисло-Сладкого озера и в большей степени для озера-лагуны на Зеленом Мысу не такая сильная в связи с тем, что связь с морем и его влияние на эти озера велика. Приток пресных вод незначителен в эти озера, перемешивание их вод, как правило, может происходить только в случае поступления морских вод. Стратификация обуславливает отсутствие кислорода в гипolimнионе озер. Для анаэробных вод Трехцветного озера характерна стабильность в вертикальном распределении и в уровне концентраций  $H_2S$ , что позволяет говорить о нём как о сложившемся меромиктическом водоеме.

Зимой 2014 г. в озере Трехцветное растворенный кислород присутствовал в поверхностном слое до 2 м, с 2 м до дна в озере существовал сероводородный слой, образованный анаэробными сульфатредуцирующими бактериями. Зимой 2015 г. кислород в озере Трехцветное отсутствовал во всей толще. Озеро-лагуна на Зелёном мысу, напротив, еще не достигло статуса меромиктического водоема – колебания в уровне концентраций сероводорода в бескислородных водах этого водоема еще довольно значительны. Во время сильных приливов вода довольно свободно поступает в это озеро-лагуны. Зимой 2015 г. содержание  $O_2$  в этом озере достигало на поверхности 7,5 мг/л (максимальное относительное содержание кислорода в озере 57,8%), на глубине 2 метра – 4,3 мг/л (относительное содержание кислорода – 34,5%). Достигает ли в водной толще озера концентрация растворенного кислорода нуля, выяснено не было. Во время зимней экспедиции 2014 г. вся толща озера-лагуны на Зеленом мысу была заполнена соленой водой и до глубины 4 м равномерно насыщена кислородом (максимальное относительное содержание кислорода в озере 77.5 %). Начиная с глубины 4,5 м, отмечалось наличие сероводорода. Сравнивая наши данные с результатами, полученными в ходе экспедиционных исследований в марте 2012 и 2013 гг. отметим, что тогда сероводород фиксировался уже на глубине 1 м, а кислород отсутствовал. Не исключено, что к марту (в конце зимней межени) при отсутствии влияния моря и обмена с атмосферой содержание  $O_2$  может заметно снизиться.

Поверхностные воды озера Кисло-Сладкое содержат незначительное количество кислорода, его относительное содержание составило примерно 2,4%. Уже на глубине в 1 метр отмечалось присутствие в воде сероводорода. В озере Н.Ершовское кислород отмечался на

глубинах до 1 м. Содержание его было невелико (0,3–3,9 мг/л), что не превысило 26,5% насыщения. С 1,5-2 м ощущался запах сероводорода.

**Солевой состав и минерализация (сумма ионов) снега, льда и воды.** В ходе зимней экспедиции 2015 г. был рассмотрен интегральный солевой состав снега, выпавшего к концу января на акватории озер (рис. 11.5). Снег отобран на реперных станциях.



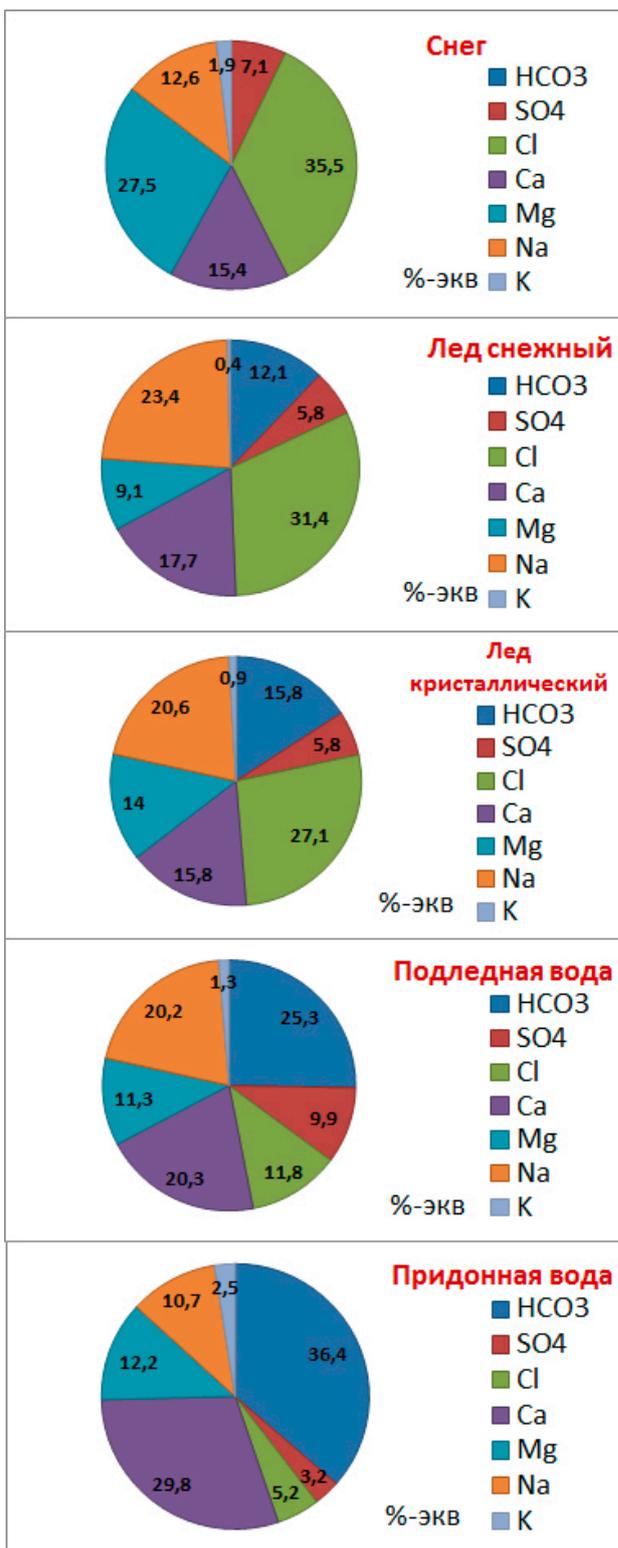
**Рис. 11.5.** Солевой состав и минерализация снега на льду озер

Минерализация снега изменяется в широком диапазоне. Максимальная минерализация характерна для снега озера-лагуны Зеленый Мыс, расположенного ближе всего к акватории моря. Минерализация снега с озера Кисло-Сладкое на порядок меньше, хотя это озеро также находится близко к морю и даже имеет связь. Отобранный снег – интегральный, скорее всего различия минерализации обусловлены тем, что морская акватория зимой не была покрыта льдом, происходил постоянный ветровой перенос морских аэрозолей на берег, особенно усиливающийся во время штормов. Солевой состав снега с озер Кисло-Сладкое и лагуны Зеленый мыс – хлоридно-натриевый. Минерализация снега трех других озер не превысила 11 мг/л. Это именно снег, выпавший на акваторию. На его минерализацию и солевой состав не оказали влияния заплески и брызги морской воды. В анионном составе снега преобладают хлориды, а среди преобладающих катионов отмечены различия. В снеге с оз. Трехцветное доминирует натрий, с оз.Верхнее – магний. Снег, отобранный с оз.Н.Ершовское, имеет смешанный состав, в котором доли катионов (за исключением калия) практически одинаковы. Вероятно, определенную роль в формировании солевого состава снега играет как абсолютная отметка озер, так и их закрытость от ветра, другие морфометрические характеристики. Морфометрические характеристики влияют и на формирование хи-

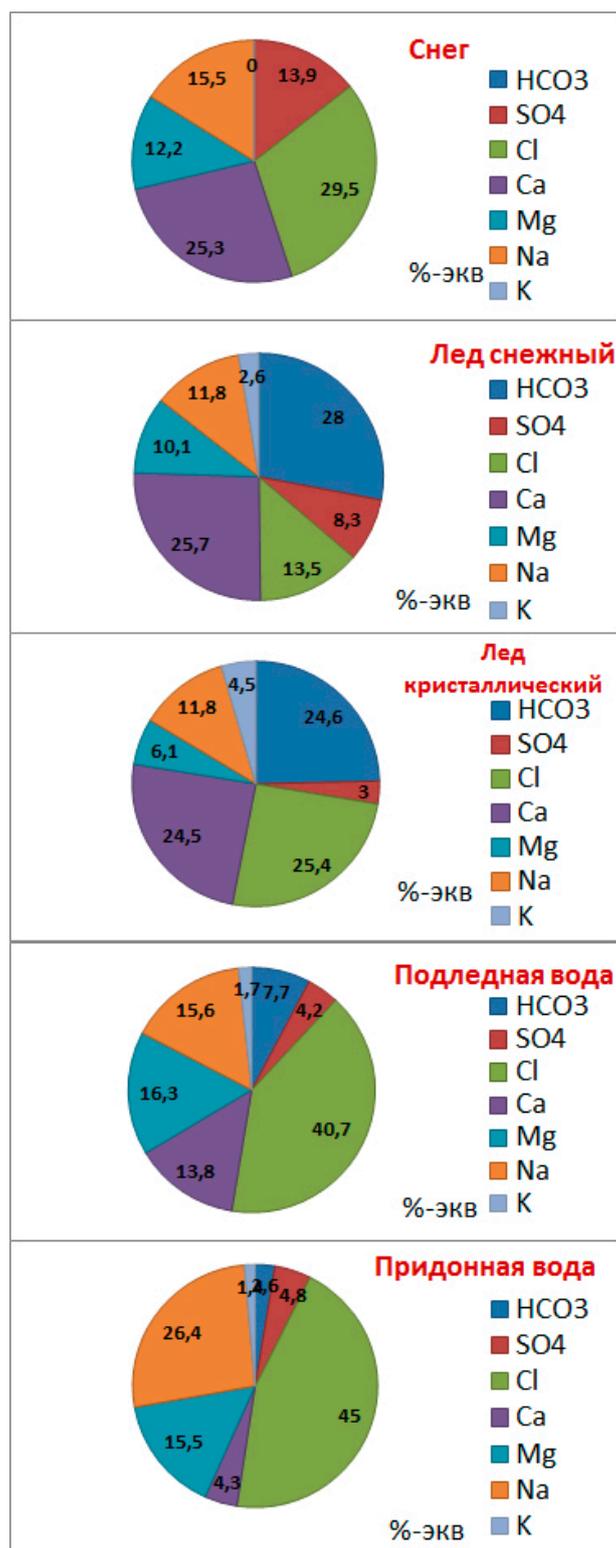
мического состава воды самих озер. Чем ниже расположено озеро и его водосбор, тем больше вероятность попадания морской воды в озеро при приливных явлениях.

Воды пресных озер, которые ранее были объединены в одну группу - Верхнего, Водопроводного и В.Ершовского – характеризуются малой минерализацией. Зимой 2015 г. минерализация воды озер была практически такой же, как и зимой 2014 г. Прослеживаются различия в минерализации и солевом составе, обусловленные особенностями питания озер. Так, воды озер Верхнее и Водопроводное, расположенных на водоразделе, в период зимней межени характеризуются очень малой минерализацией ( $< 40$  мг/л), которая обусловлена питанием озер атмосферными осадками и поверхностными водами, поступающими с заболоченной территории водосбора (о чем свидетельствуют и пониженные величины рН воды). По данным 2014 г. для пресных озер была получена зависимость электропроводности (и минерализации) воды от площади водосбора озера, поскольку с увеличением площади водосбора увеличивается количество веществ, способных поступить в озеро с поверхностным стоком. Минерализация и солевой состав воды озер меняется по вертикали. В питании озер заметную роль играют грунтовые и подземные воды. Как и зимой 2014 г. от поверхности ко дну в озерах содержание гидрокарбонатов увеличивается в 2,5 раза, в 2-2,5 раза возрастает содержание кальция, в 2 раза - минерализация воды (рис. 11.6А, приложение 1). Состав воды озер в зимний период довольно стабилен. Верхние наименее минерализованные слои воды сформированы поступлением атмосферных осадков на акватории озер в период открытой воды. Для вод верхних слоев озер Верхнего и Водопроводного характерен смешанный состав (рис. 11.6А). Однако, зимой 2015 г. относительное содержание гидрокарбонатов было несколько выше, чем в зимний период 2014 г., в составе катионов доли кальция и натрия были близки. Придонные воды пресных озер водораздела по классификации Алекина относятся к гидрокарбонатному классу второго типу, при котором  $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ .

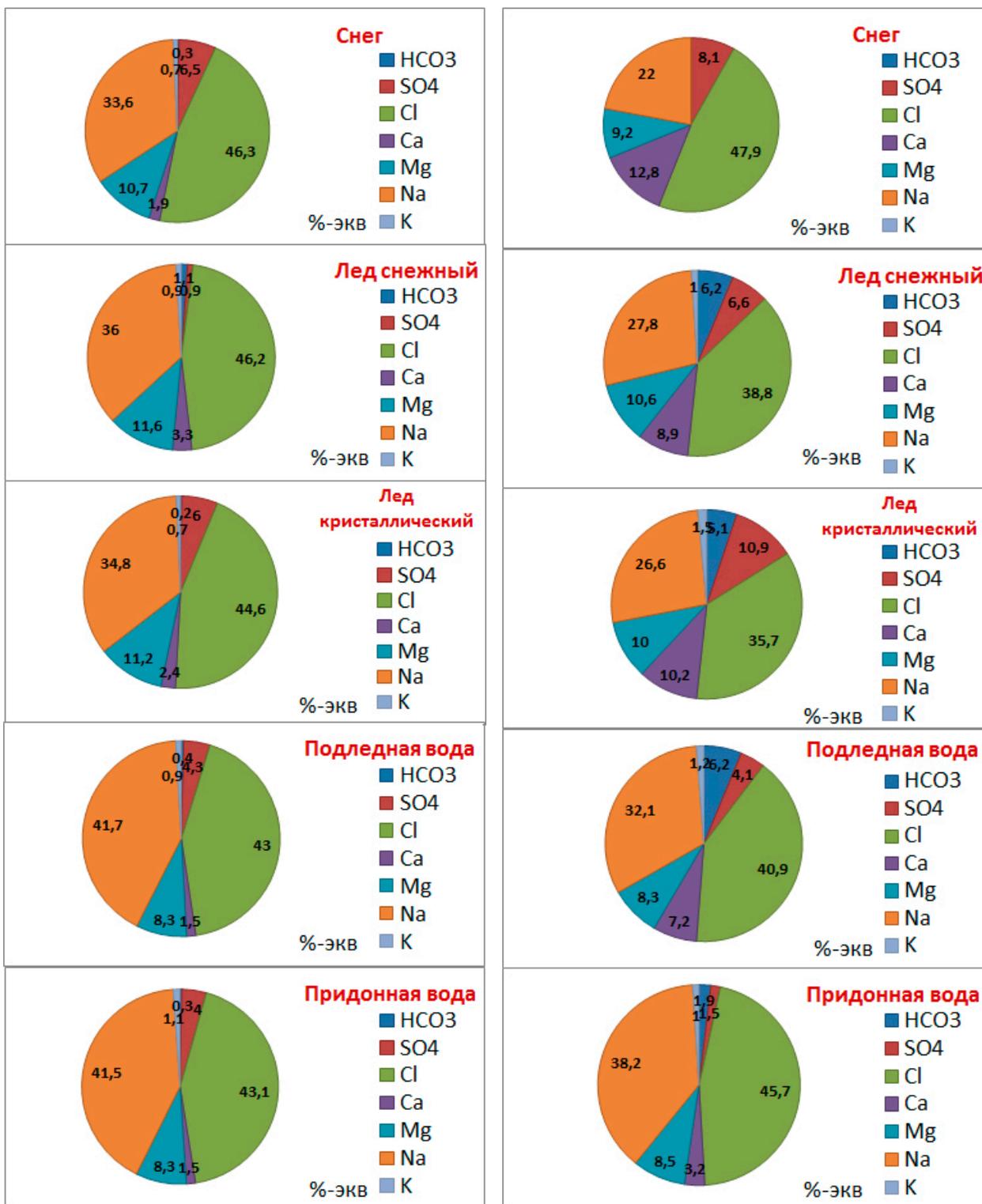
Минерализация вод В.Ершовского озера более, чем в два раза превышает минерализацию водораздельных озер; в солевом составе его вод в период зимней межени устойчиво преобладают гидрокарбонаты (приложение 1) и ионы кальция, что свидетельствует о значительной роли грунтовых и подземных вод в питании озера. А также о влиянии на минерализацию и солевой состав воды таких морфометрических показателей как глубина озера, площадь водосбора, его высотные отметки и удаленность озера от моря.



А) Верхнее озеро



Б) Нижнее Ершовское озеро



В) Лагуна на Зеленом мысу

Г) Трехцветное озеро

Рис. 11.6. Химический состав снега, льда и озерной воды для озер в окрестностях ББС

О роли атмосферных осадков в формировании химического состава озер свидетельствует и солевой состав озерного льда (рис. 11.6 А). Минерализация кристаллического льда оз. Верхнее меньше, чем минерализация его снежной части (18,6 и 23,5 мг/л соответственно). В составе нижней кристаллической части больше доля гидрокарбонатов, ионов магния. При льдообразовании наблюдается метаморфизация солевого состава, обусловленная разными

скоростями вовлечения ионов в лед и распределением ионов между кристаллами льда и рассолом. Очевидно, что по мере «старения» льда изменяется его структура, происходит трансформация его химического состава. Значение имеет пористость льда. Известно, что снежный, более пористый лед содержит больше пузырьков воздуха и солевого рассола. Во льду соленых и солоноватых озер влияние оказывает наличие прослоек воды, из которой лед образовался.

Минерализация снежного льда, отобранного на озере-лагуне З. Мыса в два раза меньше, чем у кристаллического (852 и 2048 мг/л соответственно). Снежный лед с озера Кисло-Сладкое, напротив, характеризуется большей минерализацией, чем кристаллический лед (2036 и 1123 мг/л соответственно). Лед имеет хлоридно-натриевый состав, как снег и вода. Несмотря на существенные (в 10 и более раз) различия в минерализации и абсолютного содержания ионов, относительный состав снега, льда и воды, практически не меняется (рис. 11.6В). Воды озера Кисло-Сладкое и озера-лагуны З. мыса в период зимней межени 2014 г. и 2015 г. почти не отличались от солевого состава беломорских вод, были хорошо перемешаны, что видно по слабому изменению суммы ионов (солености), и концентраций основных ионов по глубине (Приложение 1). Сумма ионов в воде лагуны у Зеленого мыса несколько выше, чем в воде Кисло-Сладкого озера (около 25.5 и 24 г/л соответственно). Поскольку воды озер характеризуются хлоридно-натриевым составом, то сумма ионов (и соленость) воды определяется содержанием главных ионов: хлора (в среднем около 12 г/л для Кисло-Сладкого и 13.5 г/л для озера на Зеленом Мысу) и натрия (7.5 г/л и 8.4 г/л аналогично). Содержание хлоридов и натрия зимой 2015 г. было немного выше, чем в 2014 г., что обусловлено и увеличением суммы ионов.

Озеро Трехцветное - типичный образец меромиктического водоема, в нем выделяются слои с различной минерализацией. Зимой 2015 г. минерализация верхнего слоя воды (до 1 м) была почти в два раза меньше, чем в 2014 г. (около 0.7 и около 1.5 г/л соответственно), что вероятно обусловлено поступлением большего количества осадков и поверхностных вод в теплый период года. Ниже «зеленого слоя» (глубина 2 м) устойчивая плотностная стратификация существует в течение всего года, поэтому концентрации основных ионов остаются практически постоянными. Сумма ионов возрастает от 13 г/л (на глубине 2 м) до 23 г/л у дна. (Приложение 1). Интересно распределение по глубине сульфатов: практически во все сезоны их максимальные концентрации приходятся на глубины 2-4 м, после чего происходит уменьшение их содержания, не характерное для других ионов (рис. 11.6 Г, приложение 1). Деятельность серобактерий в «зеленом слое» на глубине 1.7-2 м приводит к восстановлению сульфатов до сероводорода. Ниже хемоклина (в слое 2-4 м) сероводород вновь окисляется до сульфатов, но, ввиду отсутствия кислорода, с использованием каких-либо других окислителей. Отношение  $SO_4/Cl$  на глубине 2 м равно 0.14, в придонных слоях около 0.05, в то время как в оз. Кисло-Сладкое и озере-лагуне З. Мыса с типично морскими водами это отношение по всему вертикальному профилю составляет около 0.11.

В целом, для вод озера, снега и льда характерен хлоридно-натриевый состав. Снежный лед, как и на оз. Кисло-Сладкое, имеет минерализацию почти в два раза большую, чем кристаллический лед (рис. 11.6 Г).

Нижнее Ершовское озеро, в отличие от Верхнего Ершовского, не утратило связи с морем, поэтому формирование химического состава его вод происходит в результате поступления пресных вод оз. В.Ершовского, морских вод при высоких нагонах, атмосферных осадков, подземных вод, а также поверхностных вод с водосбора. Периодически озеро

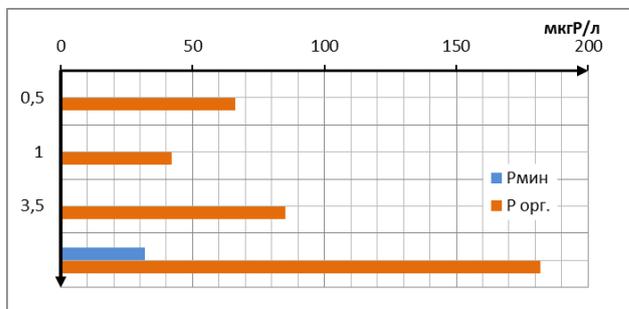
проявляет черты меромиктического водоема. Однако, этому не способствуют морфометрические показатели озера. В первую очередь, его малые глубины. Особенностью ионного состава вод Н.Ершовского озера является наличие в нем пресного поверхностного слоя смешанного состава (рис. 11.6, Приложение 1). С глубиной минерализация озерной воды возрастает, в солевом составе преобладают хлориды и ионы натрия. Зимой 2015 г. минерализация воды по всему вертикальному профилю была ниже, чем в 2014 г. (0.05 – 1.10 и 0.77- 3.30 г/л соответственно). Скорее всего, в период между экспедициями не происходило поступления в озеро морских вод. Лед оз. Н.Ершовского (интегральная проба) зимой 2014 г. имел минерализацию 33 мг/л и хлоридно-магниевого состав. Зимой 2015 г. лед (как снежный, так и кристаллический) отличался очень малой минерализацией (16.7 и 7.2 мг/л соответственно).

**Фосфор.** Во время экспедиции нами был проведен анализ содержания и рассмотрено соотношение между минеральным и органическим фосфором в воде озера. Измерения производились в сложных условиях, а высокие концентрации в водах озёр сероводорода могли повлиять на точность измерений. Для каждой группы озёр характерно своё распределение форм фосфора в водной толще, свидетельствующее о разной активности микроорганизмов. Содержание валового фосфора в воде пресноводных озёр водораздела (оз.Верхнее и оз.Водопроводное) составляет от 40 до 85 мкг/л (рис. 11.7). Как и зимой 2014 г., в толще озёр преобладает органическая форма фосфора.

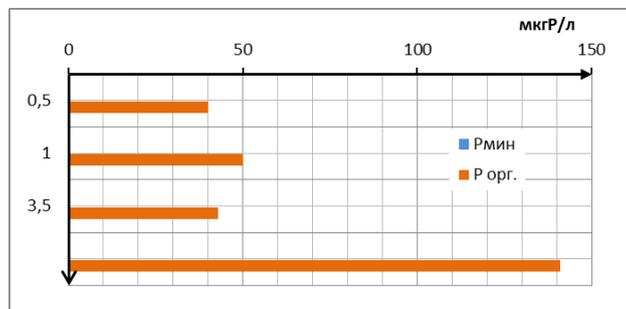
Это может свидетельствовать об активном потреблении этого элемента в теплый период и небольшой скорости его дальнейшей минерализации. Если зимой 2014 г. доля  $P_{мин}$  не превысила 10%  $P_{вал}$ , то в 2015 г. воды озера Водопроводное характеризовались полным отсутствием минеральной составляющей фосфора, а в озере Верхнем небольшие концентрации (32 мкг/л) отмечены только в придонном горизонте (15 %  $P_{вал}$ ). Отсутствие минеральных форм фосфора практически во всех горизонтах озёр можно объяснить менее интенсивными процессами минерализации и меньшим притоком в составе грунтовых вод, с которыми может поступать минеральный фосфор. Содержание валового фосфора в озере В.Ершовское значительно изменялось по глубине (рис.11.7). При этом, что во всей водной толще, за исключением придонного горизонта, преобладала органическая форма фосфора. В водном балансе озера заметную роль играют грунтовые воды, которые вносят определенный вклад в поступление минерального фосфора в водоем. Вероятно, в период предшествующий проведению экспедиции, доля грунтовых (подземных) вод, поступающих в озеро, была значительна, это стало дополнительным источником накопления в его придонном слое  $P_{мин}$ . При этом в поверхностных слоях присутствует только органический фосфор.

Меромиктические водоёмы (оз. Трёхцветное и оз. Нижне Ершовское) имеют наиболее неоднородное распределение органической и минеральной форм фосфора. Это связано с их "трёхслойной" структурой. Поверхностные слои обоих озёр, представленные пресными водами характеризуют отсутствие минеральной формы Р. Вероятно, это связано с более активным развитием биоты в летний период по сравнению с прошлым годом. Верхняя граница сероводородного слоя маркируется резким увеличением концентраций минерального фосфора, что вызвано отмиранием и минерализацией останков серобактерий, обитающих над ней в "зелёном слое" В дальнейшем из-за длительного отсутствия перемешивания концентрация и доля минерального фосфора в составе валового фосфора значительно увеличивается. В придонных слоях оз. Трёхцветное из-за отсутствия связи с морем, большой глубины и возмож-

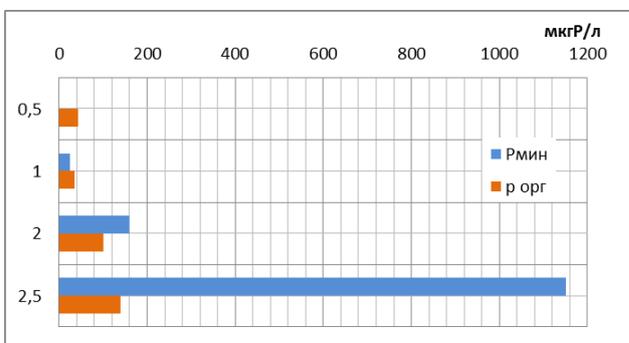
ного поступления минерального фосфора в условиях аноксии из донных отложений, концентрация достигает очень высоких значений (7790 мкг/л). Органический фосфор на глубинах ниже границы сероводородного слоя практически отсутствует. Наблюдения 2015 г. подтверждаются данными 2014 г., что позволяет сделать вывод о постоянном присутствии такого распределения форм фосфора в этих меромиктических озерах.



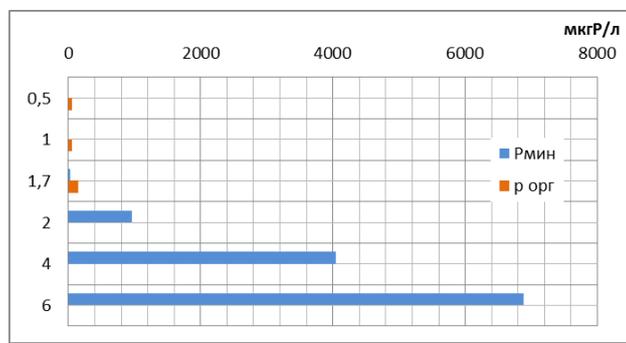
А) Оз. Верхнее



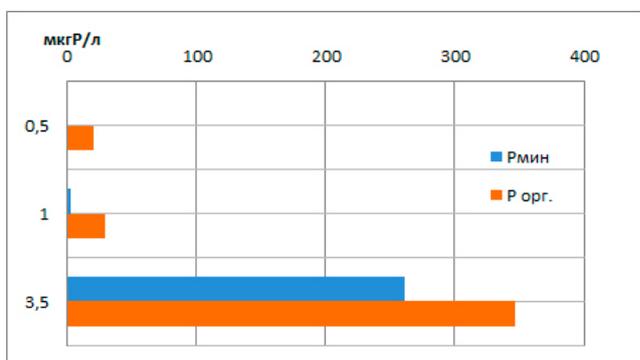
Б) Оз. Водопроводное



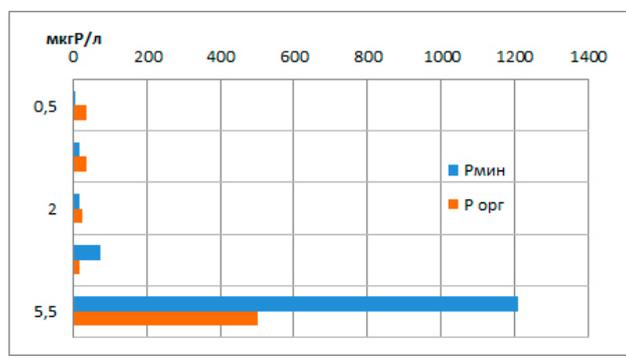
В) Оз. Нижнее Ершовское



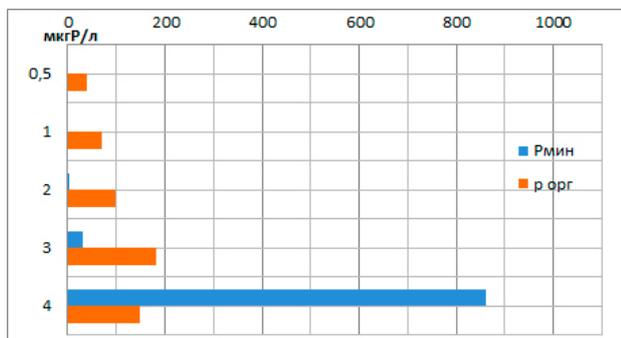
Г) Оз. Трехцветное



Д) Оз. Кисло-Сладкое



Е) Лагуна у Зеленого мыса



Ж) Оз.Верхнее Ершовское

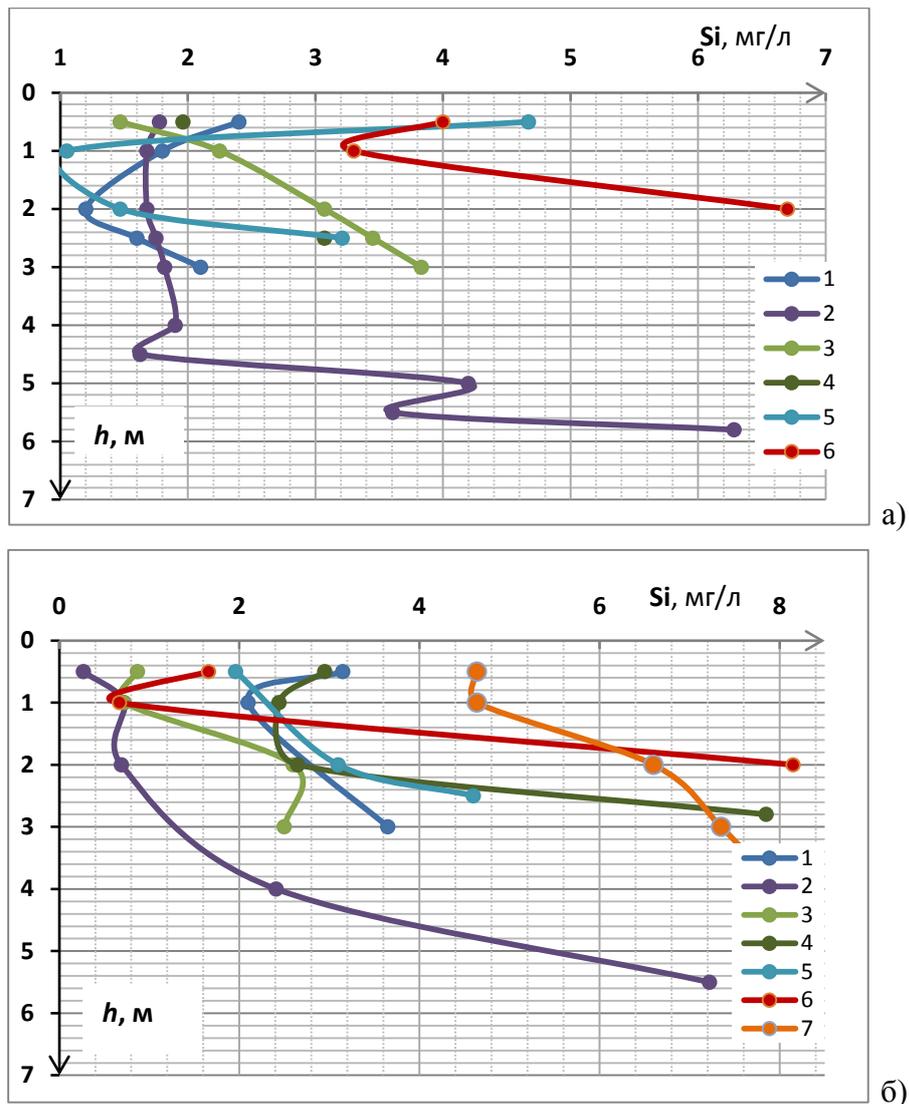
Рис. 11.7. Распределение фосфора по глубине водоемов

В поверхностных слоях озёр, часто имеющих связь с морем (оз. Зелёного Мыса и оз. Кисло-Сладкое) зимой также преобладал органический фосфор. Это следствие жизнедеятельности гидробионтов. Затем с увеличением глубины и ростом солёности происходит уменьшение потребления минеральной формы фосфора гидробионтами, что способствует увеличению её содержания (рис.11.7). Доля  $P_{\text{мин}}$  возрастала с глубиной от 17 до 70-80 %  $P_{\text{вал}}$ . Зимой 2014 г. вертикальное распределение форм фосфора было более равномерным, составляя около 50 %. В зоне контакта воды с донными отложениями оз. Зелёного мыса содержание фосфора, как органического, так и минерального увеличивается на порядок, в условиях аноксии происходит накопление и минерализация органики. Значения  $P_{\text{мин}}$  здесь достигают 1210 мг/л (70 %  $P_{\text{вал}}$ ).

Анализируя данные, полученные в ходе зимних экспедиций 2014 и 2015 гг. можно отметить схожесть процессов, влияющих на распределение биогенных элементов в водах озёр. Расхождения в содержании форм фосфора можно объяснить особенностями в развитии биоты в тёплый период года и различиями, обусловленными поступлением вод различного генезиса в водоёмы.

**Кремний.** Содержание кремния в озёрах зимой 2015 г. изменялось в диапазоне значений от 0,7 до 8,5 мг/л. В пресноводных озёрах вертикальные изменения концентрации кремния наиболее заметны и возрастают от поверхности ко дну в два и более раз (рис. 11.8). Они хорошо согласуются с изменениями минерализации и содержания в озёрах таких химических компонентов, как щёлочность, железо и цветность. В основном кремний поступает в пресноводные озёра с подземными водами, тогда как приток поверхностных вод незначительно обогащён кремнием. Максимальное содержание кремния наблюдались в В.Ершовском озере у дна (8,11 мг/л). Вероятно максимальные концентрации в этом озере связаны с его большой глубиной и большим по сравнению с другими пресноводными озёрами водосбором. Концентрации кремния в водах озёр выше, чем в 2014 году, что может быть связано большим подземным притоком.

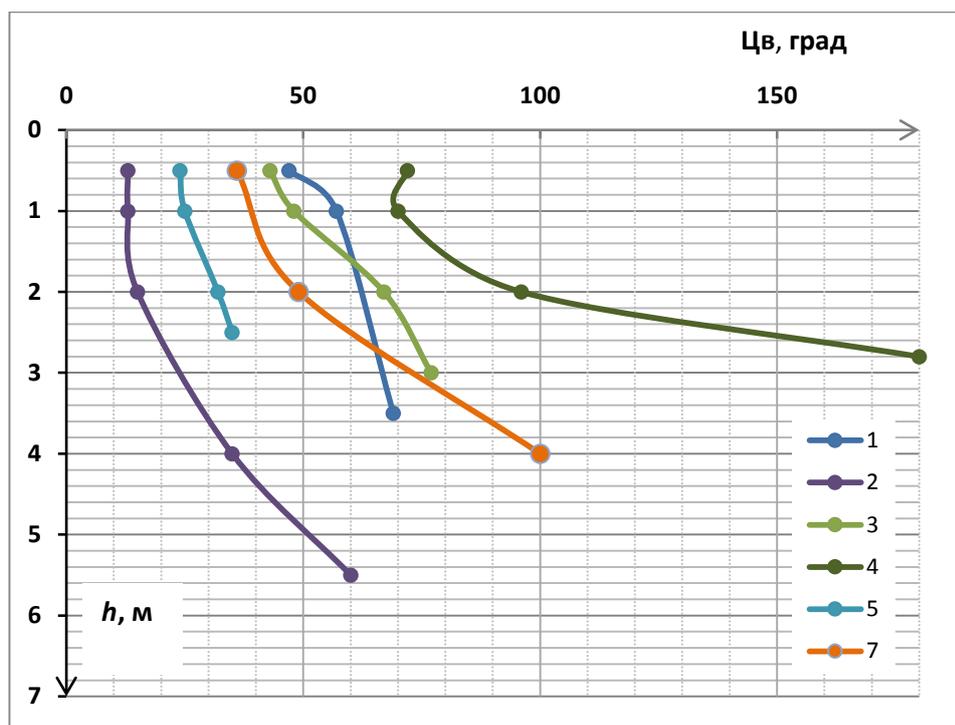
Озеро Н.Ершовское, обнаруживая черты меромиктического водоёма, имеет концентрации кремния в поверхностных слоях, равные 2 мг/л. При этом в сероводородной зоне концентрации кремния в полтора-два раза выше. Вероятно, это связано с притоком подземных вод и захоронением кремния в донных осадках. Вертикальное распределение Si очень похоже для озёр Н.Ершовское, Кисло-Сладкое и Трёхцветное. Глубина и отсутствие перемешивания в нижнем сероводородном слое оз. Трёхцветное в течение длительного времени создали условия для накопления значительных концентраций кремния (рис. 11.8). При этом на поверхности в условиях притока поверхностных вод концентрации довольно низкие (1,67 мг/л). Кроме того на границе "зелёного" слоя можно отметить снижение концентраций, что, вероятно, связано с потреблением кремния живыми организмами. Полученные данные по оз. Трёхцветному в целом согласуются с данными прошлых экспедиций.



**Рис. 11.8.** Вертикальное распределение кремния (мг/л) в воде озер зимой 2014 (а) и 2015 (б) гг. (1 – Кисло-Сладкое; 2 – озеро на Зеленом Мысу; 3 – Верхнее; 4 – Водопроводное; 5 – Нижнее Ершовское; 6 – Трехцветное; 7 – Верхнее Ершовское)

В озере-лагуне Зелёного Мыса концентрации Si до глубины 2 м самые низкие (менее 1 мг/л), что характерно для морских вод. С глубиной в связи с процессами осаждения содержание кремния возрастает до 2.5 мг/л (на горизонте 4 м), а у дна достигает концентрации 7.22 мг/л (рис. 11.8).

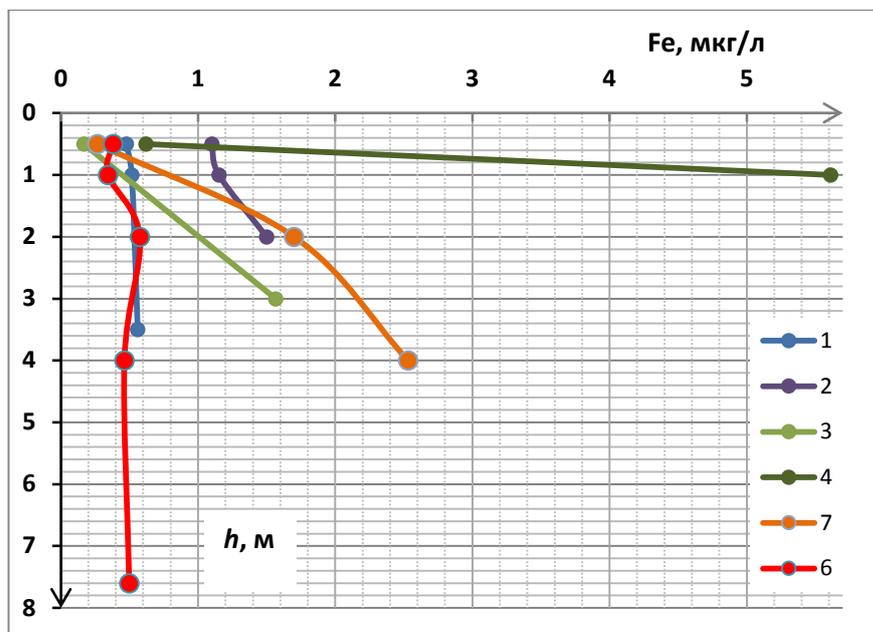
**Цветность** поверхностных вод суши обусловлена, главным образом, присутствием в них гумусовых веществ и соединений трехвалентного железа. При этом воды могут иметь разный оттенок в зависимости от наличия в них примесей. Исследованные озера окрашены по-разному в зависимости от того, в каких ландшафтных условия они расположены, каково соотношение вод, обусловивших формирование их химического состава. Зимой 2015 г. цветность в поверхностных слоях исследованных озер изменялась от 13 до 72 град.Сr-Co шкалы (рис. 11.9). До глубины 2 м цветность всех озер в среднем изменяется на 10-15 градусов; в придонных горизонтах заметно увеличивается (более, чем на 100 градусов в озере Водопроводное). Наименьшие изменения цветности по вертикали отмечены в Н.Ершовском и Кисло-Сладком озерах, максимальные – в В.Ершовском и Водопроводном озерах.



**Рис. 11.9.** Вертикальное распределение цветности (градусы Сг-Со шкалы) в воде озер зимой 2015 г. (1 – Кисло-Сладкое; 2 – озеро на Зеленом Мысу; 3 – Верхнее; 4 – Водопроводное; 5 – Нижнее Ершовское; 6 – Трехцветное; 7 – Верхнее Ершовское)

Увеличение цветности воды в пресных озерах связано не только с окрашиванием воды в желтоватый или коричневатый цвет, обусловленный растворенными в воде фульвокислотами и гуминовыми кислотами, вымываемыми из почв водосбора, но, в первую очередь, с высоким содержанием железа, придающего рыжую или бурую окраску воде придонных горизонтов (рис. 11.10).

Известно, что большое количество сероводорода, растворенного в воде, придает ей изумрудно-зеленоватую окраску вследствие окисления сероводорода и образования тонкой взвеси серы. Для Трехцветного озера максимумы цветности соотносятся с сероводородным слоем, образованным анаэробными сульфатредуцирующими бактериями. Однако, полученные высокие величины цветности в озере Трехцветное представляются не очень корректными, ввиду того, что для столь окрашенных вод не очень подходит стандартная Сг-Со шкала цветности.



**Рис. 11.10.** Вертикальное распределение суммарного железа (мкг/л) в воде озер зимой 2015 г. (1 – Кисло-Сладкое; 2 – озеро на Зеленом Мысу; 3 – Верхнее; 4 – Водопроводное; 5 – Нижнее Ершовское; 6 – Трехцветное; 7 – Верхнее Ершовское)

Как видно из рис. 11.10, содержание общего растворенного железа в поверхностных слоях почти всех озер колеблется в диапазоне 0,17– 0,60 мг/л. С глубиной концентрация возрастает. Максимальное содержание  $Fe_{\text{общ}}$  отмечено в придонных слоях пресных озер (в первую очередь, озера Водопроводное) и связано с его поступлением с грунтовыми и подземными водами. Поступление железа обуславливает высокие значения цветности воды озер. Практически не меняется по глубине содержание  $Fe_{\text{общ}}$  в озерах Кисло-Сладкое, лагуна Зеленого Мыса и Трехцветное.

Воды озера Водопроводное, используются для водоснабжения биостанции. Содержание железа в них в 3 раза превышает санитарно-гигиенический норматив (органолептический показатель).





**Рис. 11.11.** Гидрохимии в поле и в лаборатории ББС

## 12 ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕВОДОДОВ В СНЕЖНО-ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ РУГОЗЕРСКОЙ ГУБЫ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Аналитическая задача определения нефтепродуктов непростая, так как они являются многокомпонентной системой, а её составляющие обладают различными физическими и химическими свойствами. Для облегчения этой задачи под термином «нефтепродукты» подразумевают лишь составную часть сырой нефти и продуктов её переработки. Это полярные и малополярные соединения, растворимые в гексане (или в четырёххлористом углероде), которыми являются: алифатические, циклические и ароматические нефтяные углеводороды (УВ), составляющие в сумме до 70-90% нефти и нефтепродуктов [Немировская, 2004].

Можно сказать, что для изучения миграционных форм УВ используется однотипная общая схема их выделения, концентрирования и анализа из различных объектов – воды, взвеси, донных осадков и биоты. Также следует отметить, что, судя по данным различных авторов, уровень концентраций УВ определяется не столько флуктуациями антропогенных поступлений, сколько различиями применяющихся процедур.

Исследование содержания УВ в морской воде является важным этапом определения химического состава воды, так как позволяет определить степень загрязнённости, экологическую обстановку.

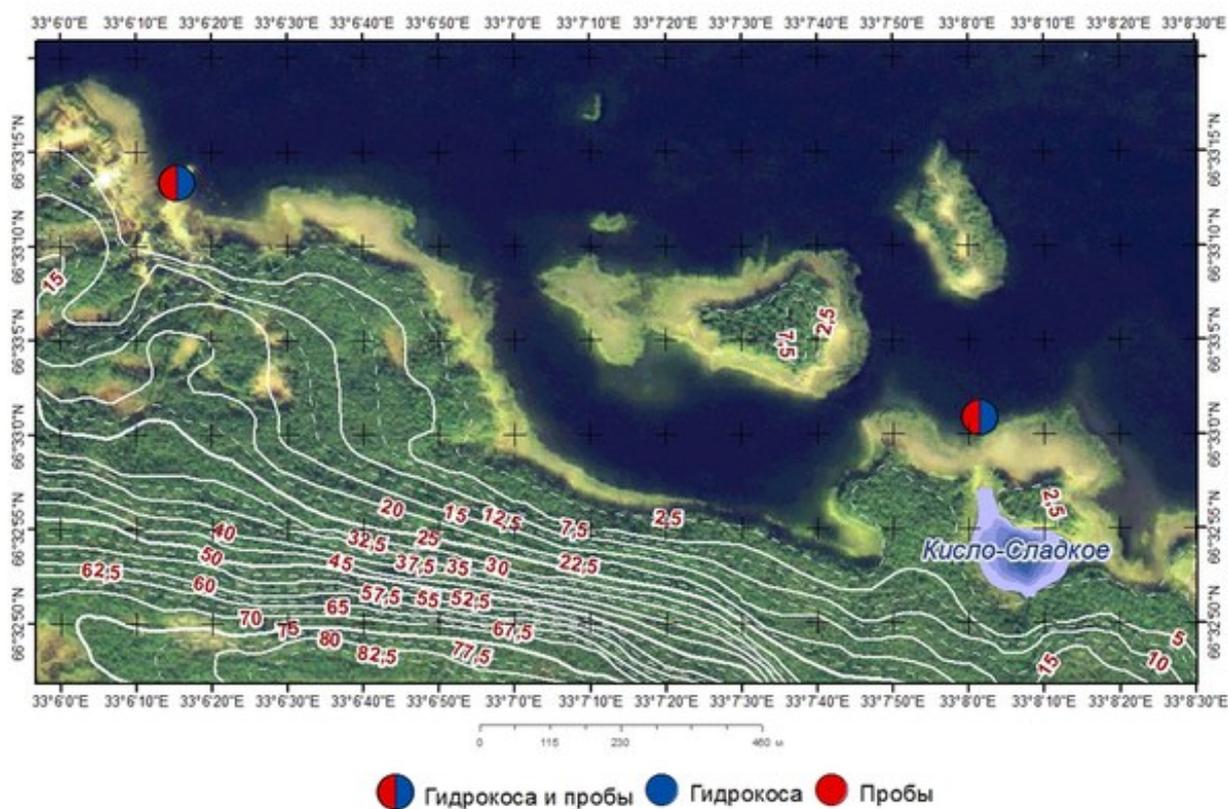


Рис. 12.1. Схема расположения станций в морской акватории

Анализ УВ морской воды выполняется по следующей общей схеме: отбор проб – фильтрация – экстракция УВ – определение концентрации экстрагируемых органических

соединений (ЭОС) – выделение углеводородной фракции – определение концентрации алифатических углеводородов (АУВ).

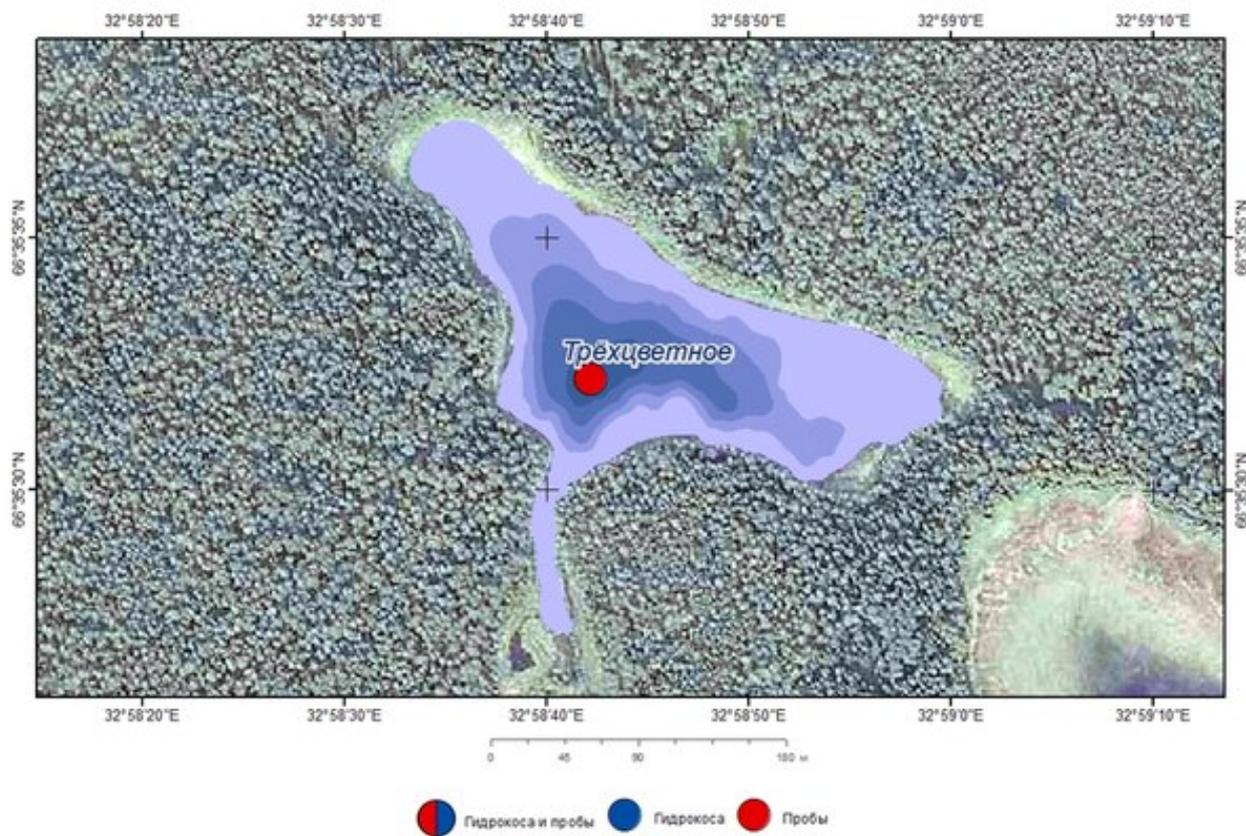


Рис. 12.2. Схема расположения станции на озере Трехцветном

Во время экспедиции НСО-2015, проходившей на Беломорской биологической станции МГУ, в трех точках (в морской части вблизи озера Кисло-Сладкого, непосредственно у пирса ББС и, впервые, на озере Трехцветном) были отобраны пробы снега, льда и подледной воды (рис. 12.1-12.2). Снег собирался над местом, где потом были выбурены керны (рис. 12.3).

**Методика.** При комнатной температуре снег, верхняя и нижняя части распиленных кернов льда были растоплены (12.4). Затем вода была профильтрована с помощью вакуумного насоса через стекловолоконные фильтры GF/F с размером пор 0.7  $\mu\text{m}$  и ядерные фильтры с диаметром пор 0.2-0.4  $\mu\text{m}$  при давлении 200 и 400 мбар соответственно. В результате чего на них осело взвешенное вещество. Для выделения взвеси были использованы три ядерных предварительно взвешенных фильтра и три фильтра GF/F на УВ, органический углерод и хлорофилл.



**Рис. 12.3.** Отбор керн морского льда у Кисло-Сладкого озера в Ругозерской губе



**Рис. 12.4.** Работа в лаборатории: обработка керн льда (слева) и фильтрование проб (справа)

Считается, что через фильтр прошёл достаточный объём воды, когда замедляется скорость фильтрации. Объём пропущенной воды записывается. Если вода солёная, то после через фильтр пропускается еще 100 мл дистиллированной воды. После этого фильтры были высушены. Фильтры GF/F на хлорофилл кладут в морозильник, другие стекловолокнистые фильтры сушат 24 часа, а ядерные – 12. Это делается для того, чтобы полностью исключить вес воды и остановить идущие процессы трансформации состава и количества взвеси. Существуют различные методы консервации проб: подкисление, замораживание до  $-20^{\circ}\text{C}$  и др.; при этом они не обеспечивают сохранности состава УВ в неизменном виде. Оптимальным вариантом следует считать экстракцию УВ сразу после отбора проб, однако это далеко не всегда достижимо в полевых условиях.

После отбора и приготовления проб из фильтров GF/F была произведена экстракция липидов с помощью метилхлорида в ультразвуковой бане «Сапфир» (30 мин при температуре  $30^{\circ}\text{C}$ ). В налитой в баню жидкости путем образования в жидкости чередующихся низких и высоких волн давления создаются миллионы микроскопических пузырьков (явление кавитации). Эти пузырьки разбиваются о поверхность фильтра и таким образом удаляют загрязнение, что ускоряет процесс экстракции.

Далее экстракт упаривали в роторном испарителе. Роторный испаритель представляет собой аппарат для непрерывной и периодической дистилляции при нормальном дав-

лении и в вакууме. Он производит безопасную тепловую обработку чувствительных к температуре сред, в результате чего не происходит дальнейшей трансформации отобранных проб. Затем полученный конденсат собирается.

Остаток переносили в бюкс, испаряли на воздухе. Концентрацию экстрагируемых органических соединений (ЭОС) можно отождествить с концентрацией липидов, так как было установлено, что расхождение при определении ЭОС и липидов по Сорг в 17 пробах не превышало 15%.

Концентрацию липидов определяли в 2 мл четырёххлористого углерода  $CCl_4$  ИК-методом на спектрофотометре «IRAffinity-1 Shimadzu Япония» по полосе  $2930\text{ см}^{-1}$ . В качестве стандарта использовали смесь (по объему): 37,5% изооктана, 37,5% гексадекана и 25% бензола. Стандарт приготовлен из ампулы стандартного раствора – ГСО 7248-96, разработчик: АОЗТ «Экрос». Аттестационное значение СО – 50, абсолютная погрешность аттестационного значения СО при  $P=0.95 - 0.2$ . Чувствительность метода – 4 мкг/мл экстракта [Немировская, 2004].

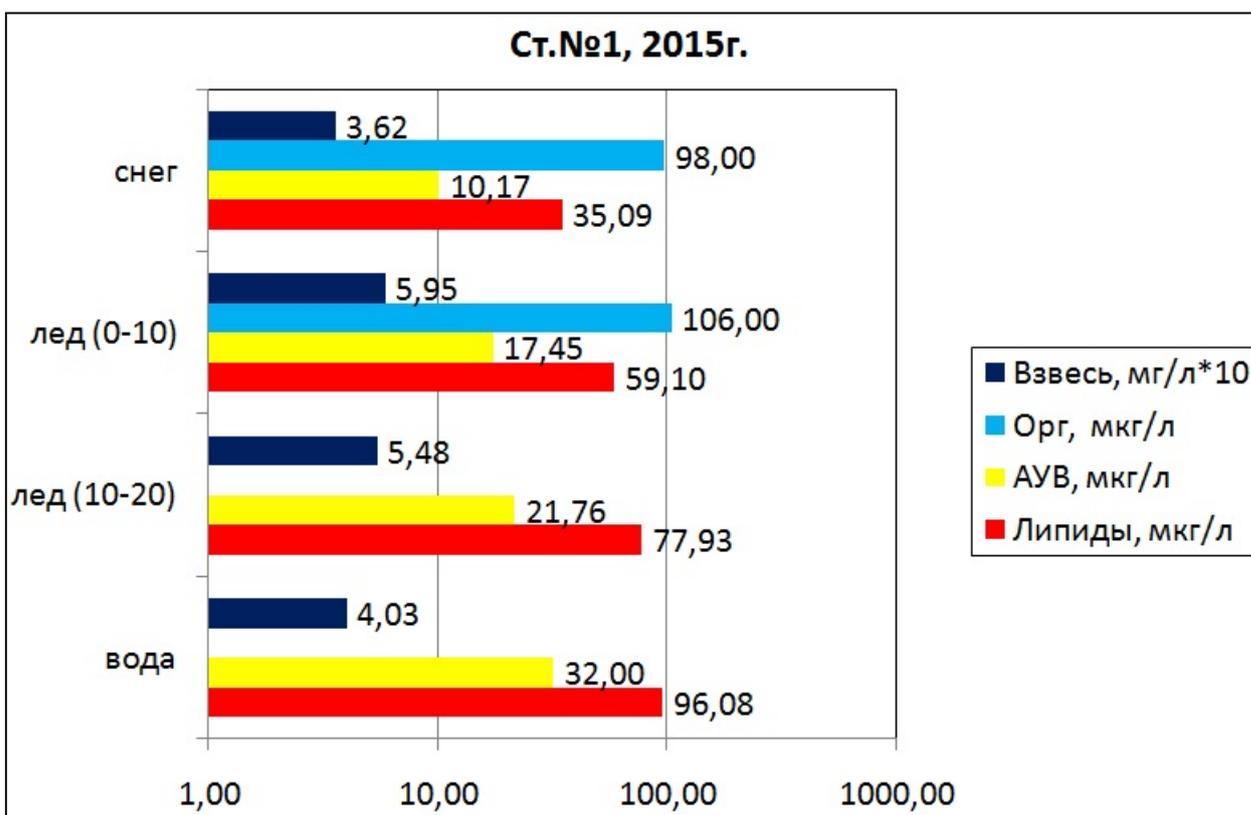
УВ из липидной фракции выделяли методом колоночной хроматографии на силикале с помощью гексана. Концентрацию УВ также определяли методом ИК-спектрофотометрии. Этот физико-химический метод исследования растворов и твёрдых веществ основан на изучении спектров поглощения в ультрафиолетовой (200-400 нм), видимой (400-760 нм) и инфракрасной (>760 нм) областях спектра. Основная зависимость, изучаемая в спектрофотометрии, – это зависимость интенсивности поглощения падающего света от длины волны. Спектрофотометрия широко применяется при изучении строения и состава различных соединений (комплексов, красителей, аналитических реагентов и др.), для качественного и количественного определения веществ (определения следов элементов в металлах, сплавах, технических объектах). Спектрофотометр измеряет коэффициент отражения данного объекта относительно рабочего стандарта с известной спектральной характеристикой. Измеряемый образец освещается монохроматическим светом, то есть светом с очень малым разбросом частот.

Для определения концентрации взвеси ядерные фильтры, высушенные в сушильном шкафу при  $60^\circ$ , помещали в эксикатор с силикагелем и выдерживали двое суток для доведения до постоянного веса. Затем фильтры взвешивали на аналитических весах, отличающихся высокой точностью.

Органический углерод (Сорг) определялся методом сухого сжигания.

**Результаты и анализ.** На первой станции (возле озера Кисло-Сладкого) был исследован снег, два горизонта льда (0-10,10-20) и подледная вода. Результаты обработки представлены на рис. 12.5.

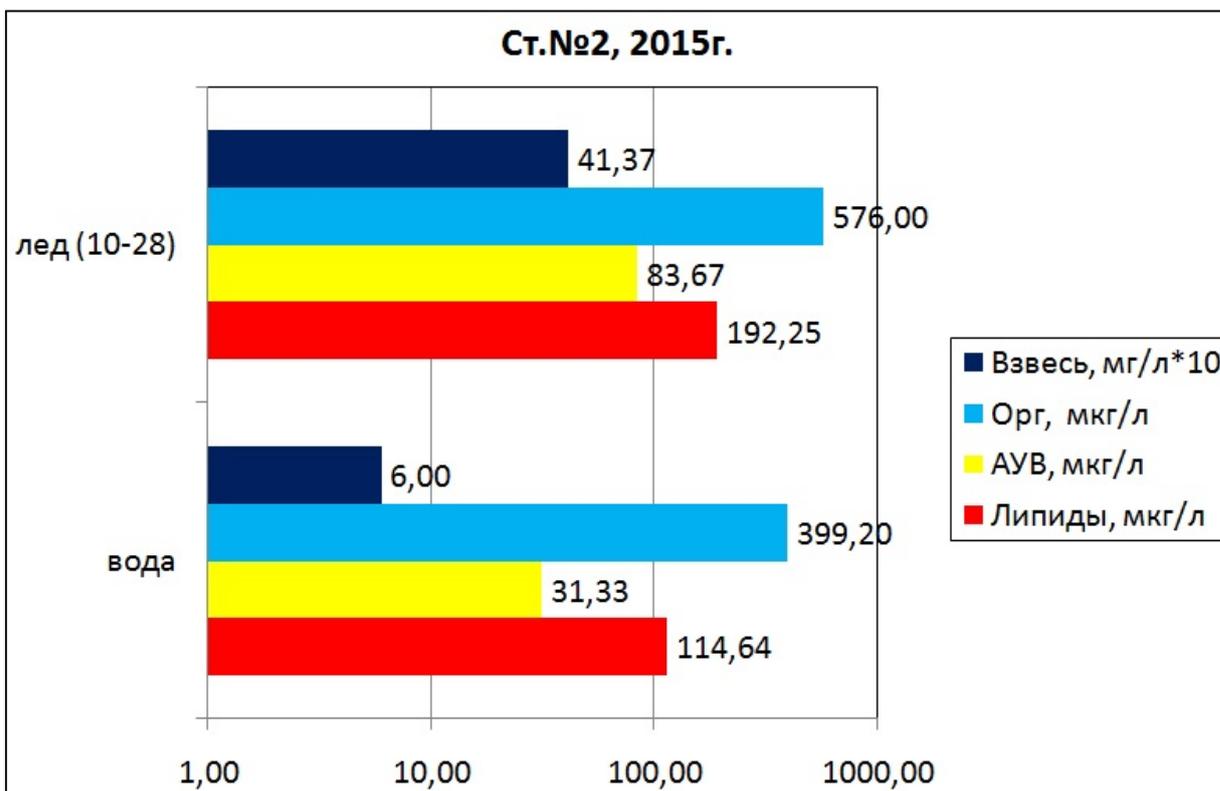
Наибольшее содержание УВ на первой станции было обнаружено в подледной воде (32мкг/л), однако это не превысило ПДК, что для УВ составляет 50 мкг/л. По сравнению с верхней частью нижний слой льда на станции №1 обладает большим содержанием УВ. Подобное распределение - максимум в нижних сантиметрах льда - называется «нормальным», поскольку этот пик приурочен к разделу двух сред, где происходит активная сорбция льдом веществ, содержащихся в подледной воде, а также происходит накопление минеральных солей. Именно эта граница раздела двух фаз воды в природе является барьерной зоной, где существуют большие градиенты различных параметров и где биологические и химические процессы протекают намного активнее.



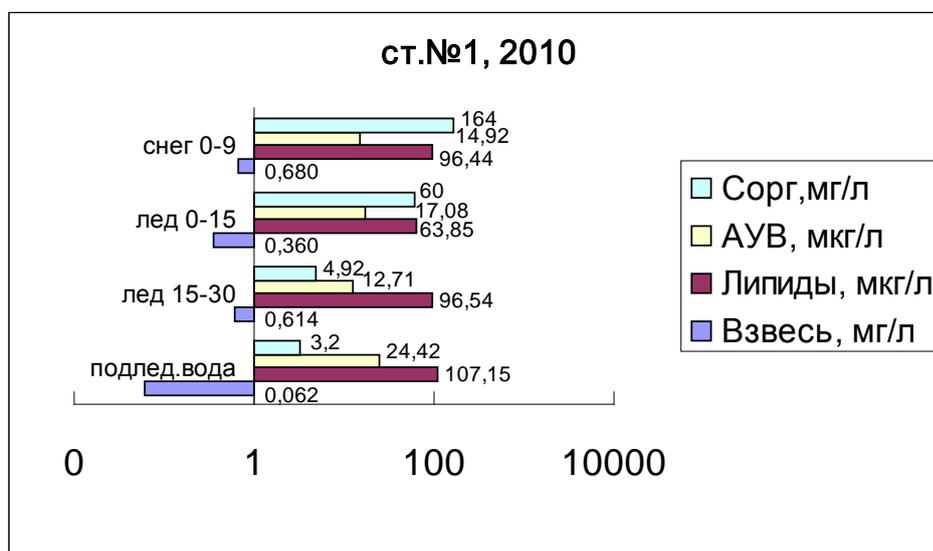
**Рис. 12.5.** Содержание взвешенного вещества и органических соединений возле озера Кисло-Сладкого

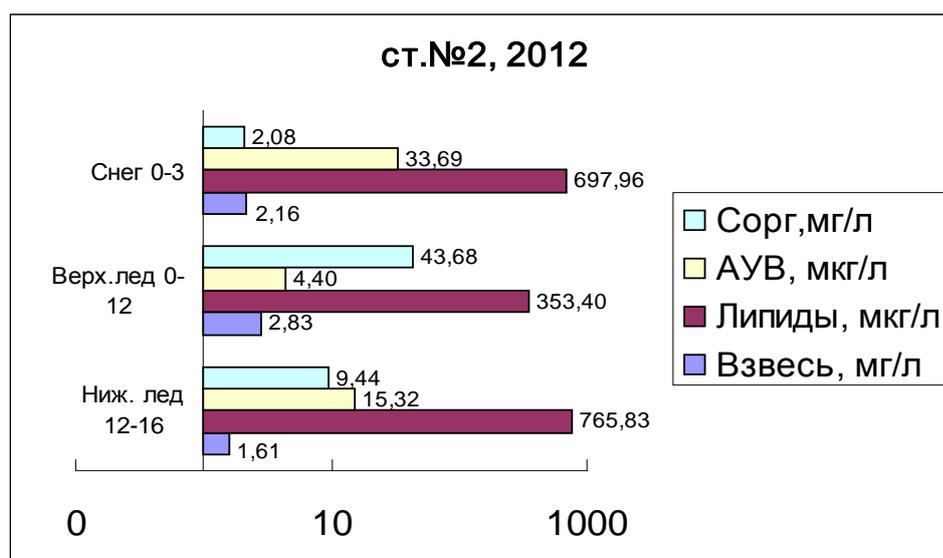
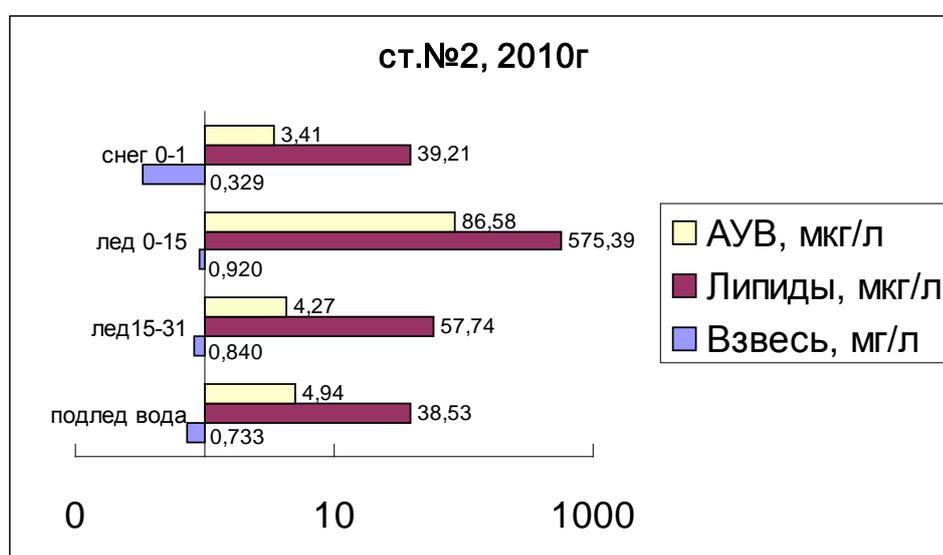
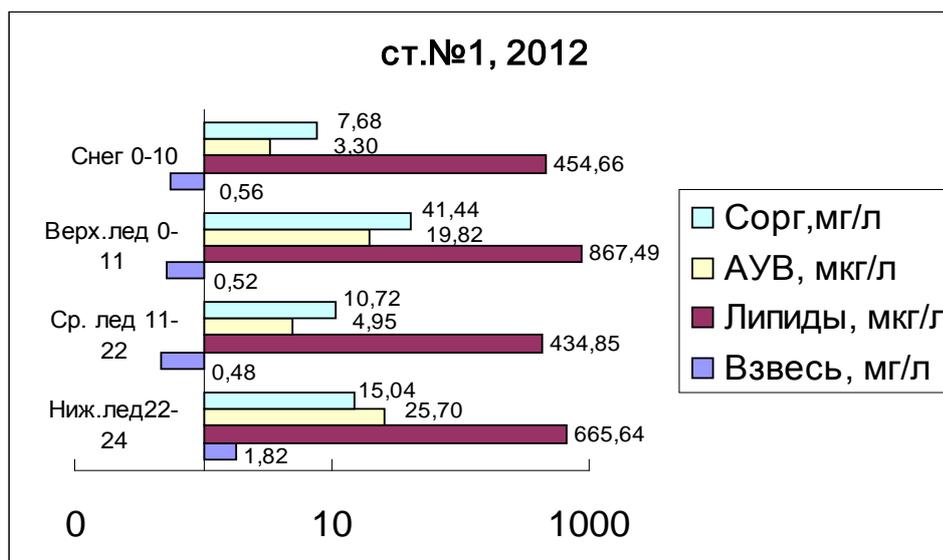
На второй станции, непосредственно возле пирса ББС (рис. 12.6) ПДК для УВ были превышены в нижнем горизонте льда (83 мкг/л), что, как уже было сказано, связано с активной сорбцией нижнего горизонта льда. К сожалению, данные о верхнем горизонте льда отсутствуют, но можно уверенно утверждать, что на второй станции прослеживался бы тот же градиент содержания УВ, что и на первой станции.

Для сравнения приведены данные, полученные в экспедициях НСО- 2010,2012 по тем же параметрам для тех же станций (рис. 12.7). Для ст. № 2 в 2015 г. концентрации УВ значительно выросли: в подледной воде по сравнению с 2010 г. годом концентрация выросла более чем в 6 раз (4,94 мкг/л – 31,33 мкг/л). Однако еще более значительный рост наблюдается в нижнем горизонте льда – с 2010 по 2012 гг. концентрация увеличилась в 3,5 раза, а с 2012 по 2015 г. – в 5,5 раз. При этом с 2010 по 2015 г. содержание УВ выросло почти в 20 раз (4,3 мкг/л – 83,7 мкг/л) и в 2015 г., как уже было сказано, превысило ПДК в 1,5 раза.



**Рис. 12.6.** Содержание взвешенного вещества и органических соединений возле пирса ББС



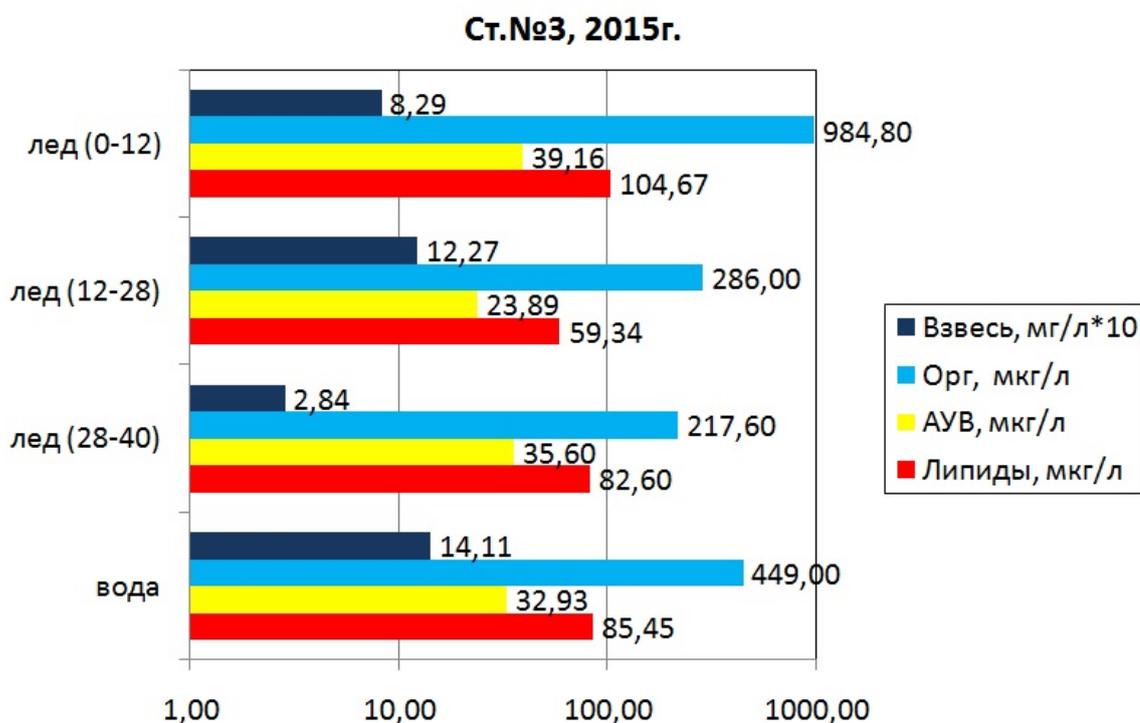


**Рис. 12.7.** Содержание взвешенных веществ и органических соединений в 2010 и 2012 гг.

Такое значительное увеличение УВ свидетельствует об активном освоении данной территории и, в какой-то степени, углеводородном загрязнении в районе пирса ББС.

Для ст. № 1 в 2015 г. такого значительного роста не наблюдается, однако в нижнем горизонте льда и в подледной воде также наблюдается тенденция увеличения концентраций УВ: в воде на 8 мкг/л по сравнению с 2010 г. (24,4мкг/л – 32мкг/л), а в нижнем горизонте льда – на 9 мкг/л (12,7мкг/л – 21,7мкг/л). По содержанию взвешенного вещества на ст. №1 можно сказать, что изменений не наблюдается, поскольку колебания концентраций в пределах десятых мг/л, но для ст.№ 2 можно говорить о росте концентрации взвеси с 2010 по 2015 гг. (в нижнем горизонте льда концентрация увеличилась почти в 5 раз), однако в подледной воде подобного роста не наблюдается.

Впервые были получены данные о содержании УВ в ледяном покрове и подледной воде одного из меромиктических озер – озера Трехцветного (рис. 12.2). На третьей станции (на озере Трехцветном) были исследованы 3 горизонта льда и подледная вода. Результаты обработки представлены на рис. 12.8.



**Рис. 12.8.** Содержание взвешенного вещества и органических соединений в центральной части озера Трехцветного в 2015 г.

Максимум содержания УВ (39,16мкг/л) приходится на верхний горизонт льда, который сорбирует УВ из атмосферы. Минимальное содержание УВ (23,89мкг/л) в среднем горизонте льда, поскольку не происходит сорбции ни из атмосферы, ни из подледной воды, а в нижнем горизонте льда опять заметно сильное увеличение содержания УВ в результате накопления органических веществ, поступающих из подледной воды. Концентрация УВ в подледной воде на всех трех станциях отличается слабо, поэтому в озере она практически такая же, как в морских точках.

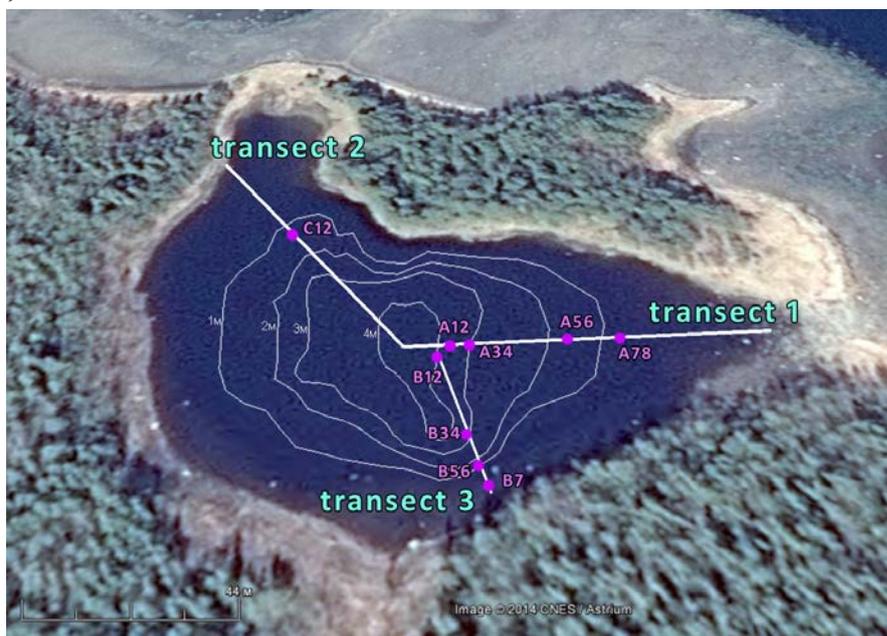
Содержание взвешенного вещества в воде на третьей станции в 2-3 раза больше чем на 1 и 2, однако, в нижнем горизонте льда, наоборот, концентрация взвеси ниже (по сравнению с 2 станцией в 15 раз).

### 13 ИССЛЕДОВАНИЕ БЕНТОСНОГО СООБЩЕСТВА КИСЛО-СЛАДКОГО ОЗЕРА ЗИМОЙ 2015 Г.

Отделяющиеся от моря водоемы обладают множеством удивительных и уникальных особенностей, которые касаются гидрологического режима, гидрохимических и гидробиологических характеристик [16-19]. В настоящее время большая часть береговой линии Белого моря интенсивно поднимается [19], ковшовые губы и частично перегороженные проливы постепенно утрачивают связь с морем [20]. В последнее время все большее внимание исследователей различных направлений уделяется отделяющимся водоемам Кандалакшского залива Белого моря [21-22]. В Кисло-Сладком озере - одном из модельных и наиболее изученных объектов, расположенном вблизи Беломорской биостанции МГУ, проводится мониторинг гидрологических, гидрохимических, микробиологических характеристик, изучение бактериальных и фитопланктонных сообществ [23-24]. Исследование бентосных сообществ в этом водоеме началось в 2010 г. [25]; первая количественная съемка проведена летом 2014 г. [26].

В зимний период гидрологическая и гидрохимическая структура озера сильно отличаются от летних [27], что сказывается на составе и распределении планктонных организмов [28-29] и не может не влиять на бентосное сообщество. В настоящей работе описывается первая зимняя съемка макрозообентоса в Кисло-Сладком озере и приводится сравнение с летней ситуацией в водоеме.

В озере собрали количественные пробы на 18 станциях (рис. 13.1-13.2) с трех трансект, расположенных аналогично летней съемке [23], с помощью дночерпателя Экмана-Берджи площадью 210,25 см<sup>2</sup>.



**Рис.13. 1.** Расположение станций бентосных проб на озере Кисло-Сладком.

Трансекта 1 проходит от действующего порога озера к его центру; трансекта 2 соединяет центр с илистым мелководьем закрытого порога; трансекта 3 проходит к южному берегу. Станции максимально приближены к таковым летней съемки. Точками показаны станции, номера соответствуют пробам с данных станций.

Трансекты заложены тремя радиусами, исходящими из центральной глубокой части, таким образом, чтобы охватить разные биотопы. Один радиус направлен к сухой перемычке, возле которой располагается илистое мелководье, второй – к действующему каменистому порогу, через который морская вода поступает в озеро во время сизигийных приливов и

наблюдается переход от морской фауны к солоноватоводной, характерной для самого Кисло-Сладкого озера. Зимой из-за ледового барьера поступление приливов ограничено или отсутствует. Третья трансекта направлена к заболоченному берегу, где впадает пресный ручей. Пробы отбирали через проруби (рис. 2) с глубин 0,75 м, 1,25 м, 1,75 м, 3 м, 3,75 м и 4 м. Из каждой проруби отбирали по две дночерпательные пробы, стараясь максимально удалить положение пробоотборника при двух повторах. Грунт промывали на сите с ячейей 1 мм и транспортировали в лабораторию, где проводилась первичная разборка. Определение проводили с использованием бинокля МВ1-1 и микроскопа MicMed-1 по специализированной литературе [30-34]. После видовой идентификации животных взвешивали на электронных весах "Весна Е-70" с точностью до 0,01 г.



Рис. 13.2. Отбор проб на бентос

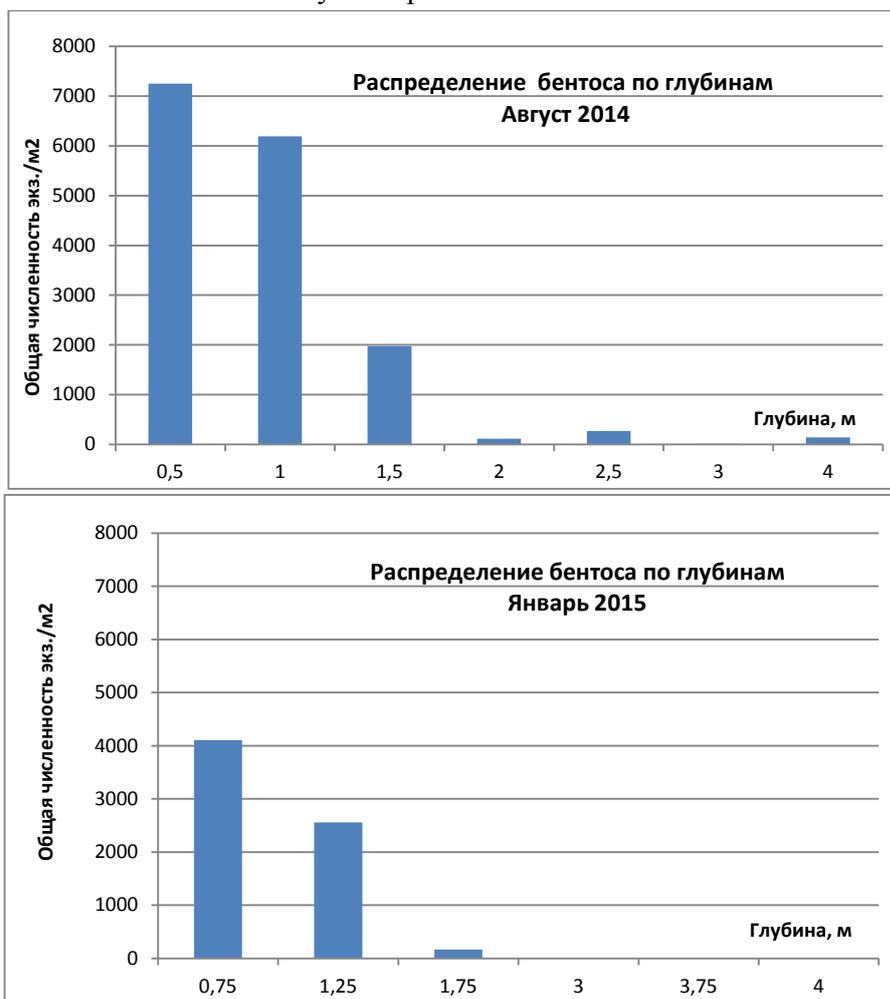
Грунт в пробах был представлен коричневым и темным илом, детритом и растительными остатками. На всех глубинах в больших количествах встречались раковины *Hydrobia ulvae*, в средних горизонтах были многочисленны трубочки полихет *Pectinaria koreni*; также присутствовали экзувии куколок Ephydriidae, надкрылья жуков *Haliplus apicalis*, позвонки рыб (*Gasterosteus aculeatus*).

В пробах обнаружено 7 видов макробентосных организмов: 4 вида Diptera (Chironomidae) и по 1 виду Coleoptera, Gastropoda и Amphipoda. Средняя численность донных организмов составила 550 экз./м<sup>2</sup>, что в 5 раз меньше, нежели в августе 2014.

Если летом биомасса бентоса в озере Кисло-сладком варьировала от 0,6 до 200 г/м<sup>2</sup>, что сопоставимо с летней биомассой в море — 9-279 г/м<sup>2</sup> [20], то зимой средняя биомасса в озере снизилась вчетверо: 12 г/м<sup>2</sup> против 45 г/м<sup>2</sup> летом при разбросе от 0,9 до 54 г/м<sup>2</sup>.

Примечательно, что по результатам зимней съемки на глубинах более двух метров живых животных обнаружено не было. Летом большая часть бентоса сосредоточена на глубине

до 1,5 м, на глубине 2 м отмечалось резкое снижение численности и биомассы, однако в небольшом количестве бентосные организмы встречались до наибольшей глубины. Зимой 2015 г. в озере Кисло-Сладком наблюдался замор: в связи с ледовой изоляцией озера от моря [36] граница распространения сероводорода поднялась почти до поверхности, не оставив кислородного слоя для его обитателей [37-38]. Наблюдаемое снижение численности и биомассы бентоса по всему водоему, по всей видимости, результат замора (рис. 13.3). Наименее подверглась изменению зона илистого мелководья. Здесь встречены разнообразные личинки насекомых, в том числе единично личинка жука *Haliphus apicalis*. Есть основания полагать, что в этом озере зимы с заморами и зимы с промывным режимом, когда вся толща озера обеспечивается кислородом, чередуются [39]. Возможно, с зимними заморными явлениями связаны наблюдавшиеся в предыдущие годы резкие колебания численности гидробий и периодическое появление залежей их пустых раковин.



**Рис. 13.3.** Распределение численности бентосных организмов по глубинам в озере Кисло-Сладком. А. Летняя съемка Б. Зимняя съемка.

Наибольший вклад в общую численность и биомассу зимой вносил *Chironomus salinarius* - от 22 до 100% биомассы (рис. 13.4-13.7). Летом этот вид был вторым по вкладу в биомассу и доминировал лишь в центральной яме на 4 м.

Лишь на одной станции на 1,25 м зимой доминировал брюхоногий моллюск *Hydrobia ulvae*, который летом составляет до 100% биомассы бентоса почти по всему озеру, за исключением самой глубокой ямы, где доминировал *Ch. salinarius* с примесью олигохет.

Таким образом, как летом, так и зимой основу бентоса в озере составляют два вида: *Ch. salinarius* и *H. ulvae*, численность которых и соотношение изменяются во времени. Вероятно, сообщество донных организмов претерпевает циклические изменения, связанные с колебаниями гидрологического режима водоема.

Авторы благодарны директору ББС МГУ А.Б. Цетлину и сотрудникам биостанции; В.А. Спиридонову за любезно предоставленный дночерпатель; Н.Л. Фроловой, П.Н. Терскому и учебной группе каф. Гидрологии суши географического факультета за помощь в подготовке станций; Василенко А.Н. и Моисееву А.И. за участие в первичной разборке проб.

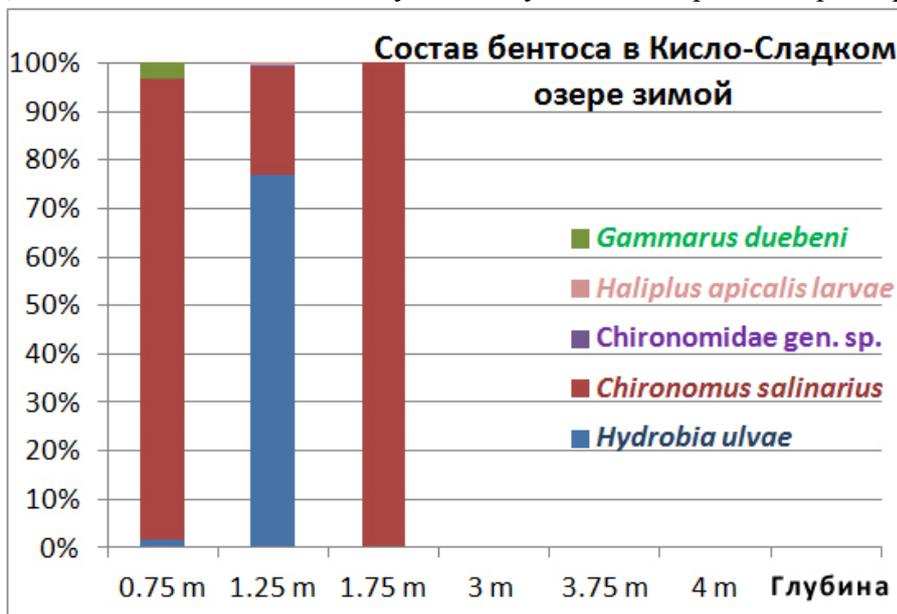


Рис. 13.4. Вклад различных видов в общую биомассу бентоса в Кисло-Сладком озере в январе 2015 г.

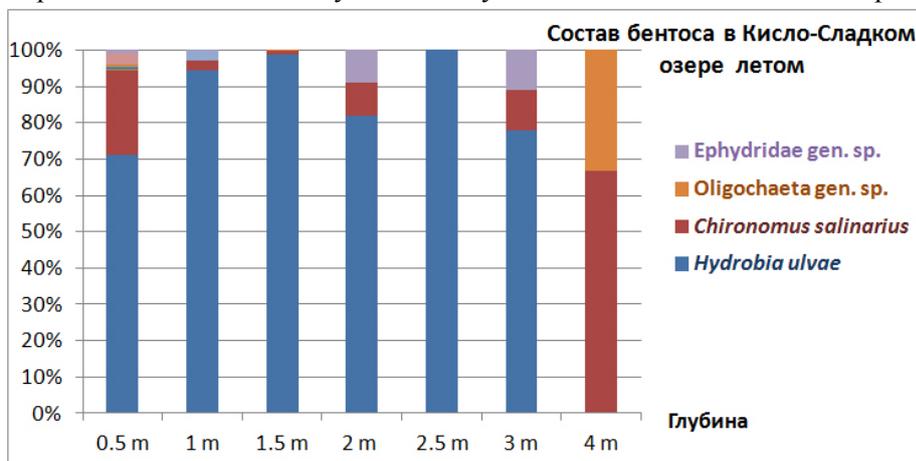


Рис. 13.5. Вклад различных видов в общую биомассу бентоса в оз.Кисло-Сладком в августе 2014 г.



Рис. 13.6. Работа в лаборатории



Рис. 13.7. Обнаруженные в пробах виды

## 14 СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕЛЕННЫХ СЕРНЫХ БАКТЕРИЙ ИЗ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ ВОДОЕМОВ И РАЗДЕЛЕНИЕ ВКЛАДОВ РАЗНЫХ ГРУПП БАКТЕРИЙ

Аноксигенные фототрофные бактерии – наиболее древняя группа фототрофов [40]. Согласно данным молекулярной биологии, фототрофы появились приблизительно 3,5 миллиарда лет назад [41]. Среди многообразия хлорофиллсодержащих бактерий все являются фототрофами, но только некоторые способны к фотосинтезу, в процессе которого синтезируется первичное органическое вещество. Зеленые серные бактерии являются аноксигенными фототрофами. Научный интерес к изучению данных микроорганизмов определяется простой организацией их фотосистем, что делает их удобными моделями для биохимических и биофизических работ.

Зеленые серные бактерии, обитающие в отделяющихся от Белого моря в районе Кандакшского залива водоемах, могут быть двух типов: зеленоокрашенные и коричневоокрашенные. Цвет таких бактерий определяется различными видами бактериохлорофиллов и каротиноидов, содержащихся в клетках. Из-за похожих оптических свойств пигментов могут возникать трудности при разделении вкладов разных групп бактерий [42].

В ходе зимней экспедиции по отделяющимся от Белого моря водоемам в районе Кандакшского были исследованы четыре водоема на разных стадиях отделения. Целью работы было разделение вкладов зеленоокрашенных и коричневоокрашенных зеленых серных бактерий с помощью комплекса спектрально-оптических методов.

**Объекты и методы.** Пробы отбирались с различных горизонтов при помощи погружаемого насоса. Измерялись физико-химические и спектрально-оптические характеристики наиболее окрашенных слоев.

Спектры оптической плотности свежееотобранных образцов измерялись относительно дистиллята в лабораторных условиях на спектрофотометре Hitachi в спектральном диапазоне 200-1000 нм. В лабораторных условиях были измерены спектры оптической плотности и спектры флуоресценции при помощи спектрофотометра Unicо и флуориметра Solar CM2203 в стандартных кварцевых кюветах с длиной оптического пути 10 мм.

Из образцов воды были приготовлены ацетон-метанольные экстракты. В пробирку объемом 15 мл наливали воду с наиболее интенсивной окраской. Затем проводили центрифугирование в течение 5 мин со скоростью 3000 об/мин. После этого удаляли надосадочную жидкость (13 мл) и добавляли 8 мл раствора ацетона и метанола в соотношении 7:2.

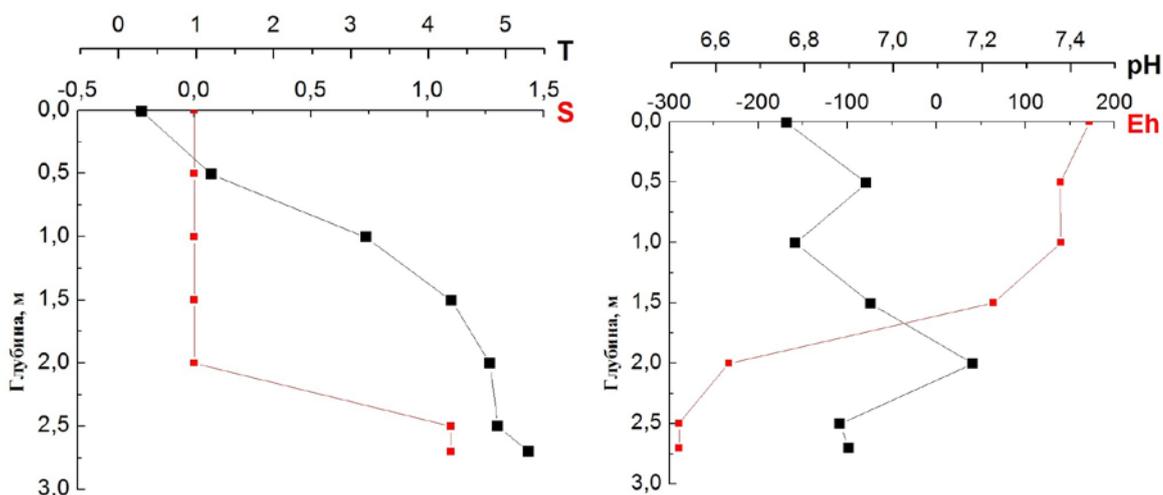
**Физико-химические характеристики.** 26 января было произведено измерение физико-химических характеристик воды в *озере Нижнем Ершовском* (табл. 14.1, рис. 14.1) (дальняя яма, координаты: 66°32'17.2"N 33°0.3'38.3"E). Толщина снежного покрова была 11 см, лед имел слоистую структуру: лед (6 см) – вода (8 см) – лед (26 см). Максимальная глубина – 2,75 м, освещенность на воздухе – 490 лк. У поверхности вода имела рыжий оттенок, на глубине 1,5 м цвет стал зеленовато-мутным, появился запах сероводорода, который увеличивался с глубиной. Слой воды с интенсивным зеленым цветом не был обнаружен (в сентябре 2014 такой слой располагался на глубине 2,2 м).

28 января измерялись физико-химические характеристики воды в *озере Кисло-Сладком* (координаты: 66°32'54.5"N 33°08'05.7"E) (табл. 14.2, рис. 14.2). Толщина снежного покрова составляла 15 см, толщина льда – 41 см. Максимальная глубина – 3,5 м, освещенность на воздухе – 1300 лк. У поверхности вода имела рыжеватый цвет, на глубине 1,0 м стала зеленоватой, и появился запах сероводорода, затем цвет воды стал лимонным, концентрация

сероводорода увеличилась. Вода у поверхности опресненная, начиная с глубины 1,5 м соленость такая же, как у морской воды. Летом 2014 г. на глубине 2,2 м находился ярко-красный слой воды, 2,7 м – зеленый; при отборе проб зимой 2015 года ярко окрашенных слоев не было обнаружено.

**Табл. 14.1.** Физико-химические характеристики образцов воды из озера Нижнего Ершовского.

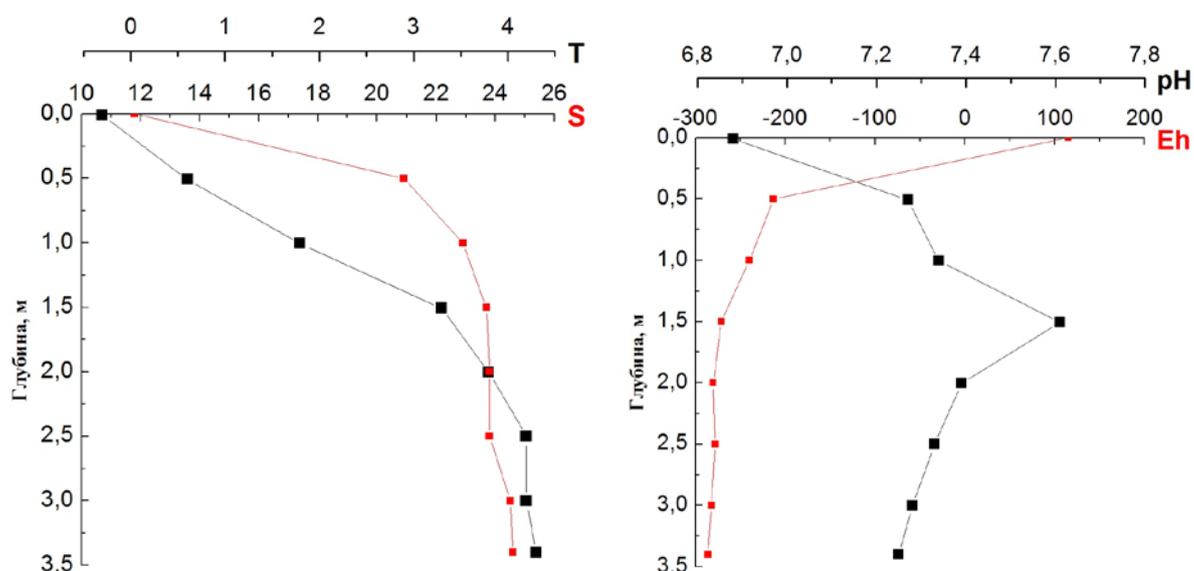
Глубина, м	Температура, °С	Соленость, ‰	pH	Eh	Освещенность, лк
0,0	0,3	0,0	6,76	172	370
0,5	1,2	0,0	6,94	139	36
1,0	3,2	0,0	6,78	140	7
1,5	4,3	0,0	6,95	64	2
2,0	4,8	0,0	7,18	-233	1
2,5	4,9	1,1	6,88	-289	0
2,7	5,3	1,1	6,9	-289	0



**Рис. 14.1.** Вертикальные распределения физико-химических характеристик воды из озера Нижнего Ершовского: температура (°С) и соленость (‰) – слева; pH и Eh – справа.

**Табл. 14.2.** Физико-химические характеристики образцов воды из озера Кисло-Сладкого.

Глубина, м	Температура, °С	Соленость, ‰	pH	Eh
0,0	-0,3	11,8	6,88	115
0,5	0,6	20,9	7,27	-213
1,0	1,8	22,9	7,34	-240
1,5	3,3	23,7	7,61	-271
2,0	3,8	23,8	7,39	-280
2,5	4,2	23,8	7,33	-278
3,0	4,2	24,5	7,28	-282
3,4	4,3	24,6	7,25	-286

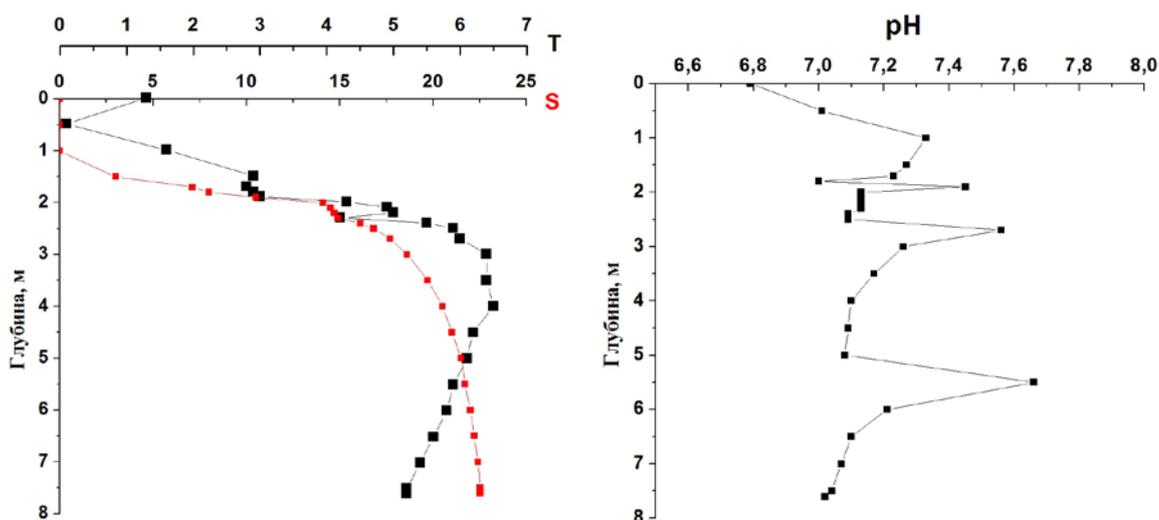


**Рис. 14.2.** Вертикальные распределения физико-химических характеристик воды из озера Кисло-Сладкого: температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) и соленость (%) – слева; pH и Eh – справа.

31 января было произведено измерение физико-химических характеристик воды из озера *Трехцветного* (координаты:  $66^{\circ}32'54.5''\text{N}$   $33^{\circ}08'05.7''\text{E}$ ) (табл. 14.3, рис. 14.3). Максимальная глубина – 7,6 м. Слой с наиболее интенсивной зеленой окраской обнаружен на глубине 2,0 м, окрашенная в зеленый цвет вода находилась в диапазоне 1,7-3,5 м (соответствует данным, полученным в августе 2014 года). Запах сероводорода появился на глубине 2,0 м и с увеличением глубины его концентрация возрастала. Поверхность данного озера – пресная, в окрашенных слоях соленость возрастала, соленость у дна ниже, чем соленость воды в Белом море.

**Табл. 14.3.** Физико-химические характеристики образцов воды из озера Трехцветного.

Глубина, м	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Соленость, %	pH
0.0	1,3	0,0	6,79
0.5	0,1	0,0	7,01
1.0	1,6	0,0	7,33
1.5	2,9	3,0	7,27
1.7	2,8	7,1	7,23
1.8	2,9	8,0	7,00
1.9	3,0	10,5	7,45
2.0	4,3	14,1	7,13
2.1	4,9	14,5	7,13
2.2	5,0	14,7	7,13
2.3	4,2	14,9	7,13
2.4	5,5	16,1	7,09
2.5	5,9	16,8	7,09
2.7	6,0	17,7	7,56
3.0	6,4	18,6	7,26
3.5	6,4	19,7	7,17
4.0	6,5	20,5	7,10
4.5	6,2	21,0	7,09
5.0	6,1	21,5	7,08
5.5	5,9	21,7	7,66
6.0	5,8	22,0	7,21
6.5	5,6	22,2	7,10
7.0	5,4	22,4	7,07
7.5	5,2	22,5	7,04
7.6	5,2	22,5	7,02

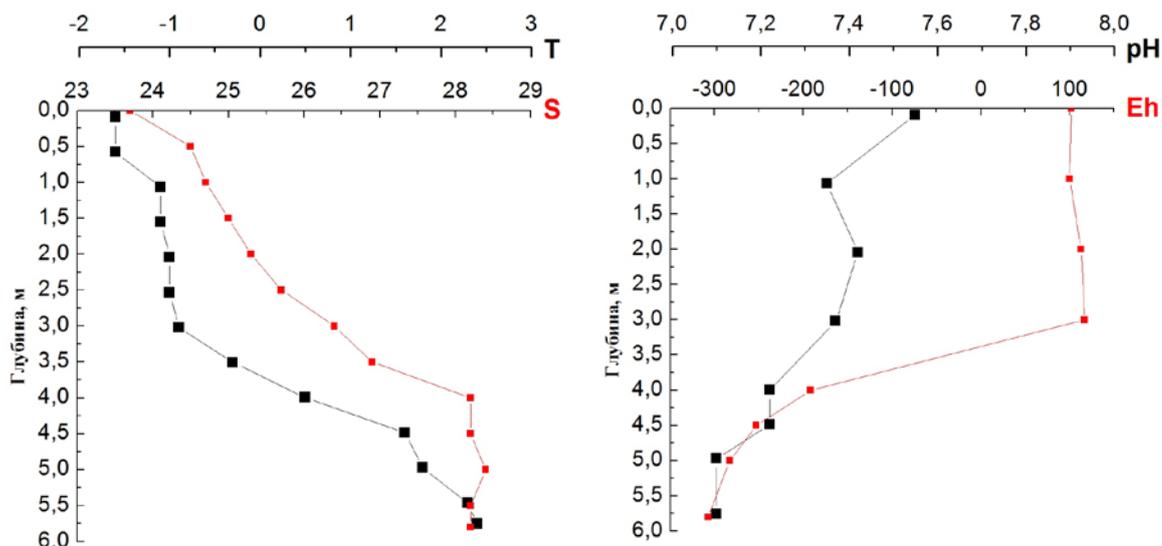


**Рис. 14.3.** Вертикальные распределения физико-химических характеристик воды из озера Трехцветного: температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) и соленость ( $\text{‰}$ ) – слева; pH – справа.

3 февраля 2015 года производился отбор проб воды из лагуны на Зеленом мысу (координаты:  $66^{\circ}31'55.4''\text{N}$   $33^{\circ}05'13.7''\text{E}$ ) (табл. 14.4, рис. 14.4). Температура и соленость измерялись при отборе проб, другие физико-химические характеристики регистрировались в лабораторных условиях. Слой воды на глубине 4,5 м имеет коричневый оттенок, на глубине 4,0 м появился запах сероводорода. Летом 2014 года на глубине 4,7 м был обнаружен слой воды песчано-красного цвета.

**Табл. 14.4.** Физико-химические характеристики образцов воды из лагуны на Зеленом мысу.

Глубина, м	Температура, $^{\circ}\text{C}$ (измерено при отборе проб)	Соленость, $\text{‰}$ (измерено при отборе проб)	Соленость, $\text{‰}$ (измерено в лабораторных условиях)	pH (измерено в лабораторных условиях)	Eh (измерено в лабораторных условиях)
0,0	-1,6	23,7	26,4	7,55	102
0,5	-1,6	24,5			
1,0	-1,1	24,7	27,8	7,35	100
1,5	-1,1	25,0			
2,0	-1,0	25,3	27,8	7,42	113
2,5	-1,0	25,7			
3,0	-0,9	26,4	27,7	7,37	117
3,5	-0,3	26,9			
4,0	0,5	28,2	27,7	7,22	-192
4,5	1,6	28,2	28	7,22	-253
5,0	1,8	28,4	28,1	7,1	-283
5,5	2,3	28,2			
5,8	2,4	28,2	28,2	7,1	-307

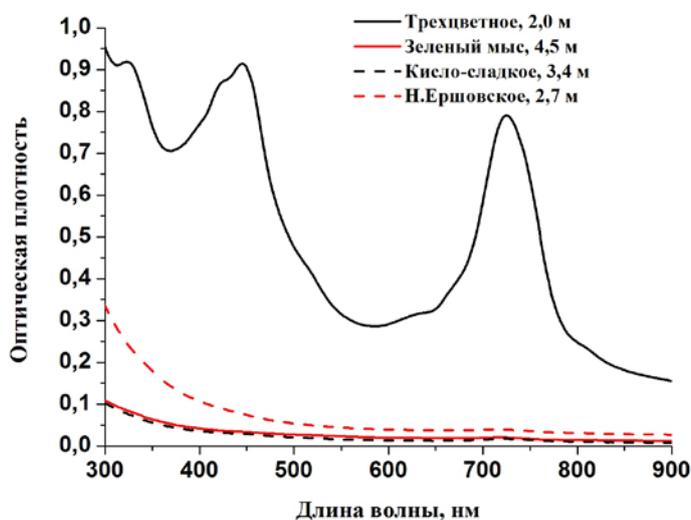


**Рис. 14.4.** Вертикальные распределения физико-химических характеристик воды из лагуны на Зеленом мысу: температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) и соленость ( $\%$ ), измеренные при отборе проб – слева; pH и Eh, измеренные в лабораторных условиях – справа.

**Спектрально-оптические характеристики.** Спектры оптической плотности образцов воды измерялись в спектральном диапазоне 200-1000 нм (рис. 14.5.). В спектрах поглощения присутствовали максимумы, характерные для бактериохлорофиллов (БХл) *d* и *e*, а также каротиноидов, содержащихся в клетках зеленых серных бактерий.

Зеленоокрашенные зеленые серные бактерии в своем пигментном составе имеют БХл *d* и каротиноид хлоробактин, для них характерны максимумы поглощения в диапазоне 420-470 нм в коротковолновой области спектра и на длине волны 725 нм; коричневоокрашенные зеленые серные бактерии содержат БХл *e* и каротиноид изорениератин, для них характерны максимумы в диапазоне 450-550 нм в коротковолновой области и также на длине волны 725 нм [43].

По величине длинноволнового максимума (725 нм) было найдено, что максимальная концентрация зеленых серных бактерий была в озере Трехцветном, в Нижнем Ершовском их было в 20 раз меньше, в Кисло-Сладком – в 50 раз, и в лагуне на Зеленом мысу – в 40 раз.



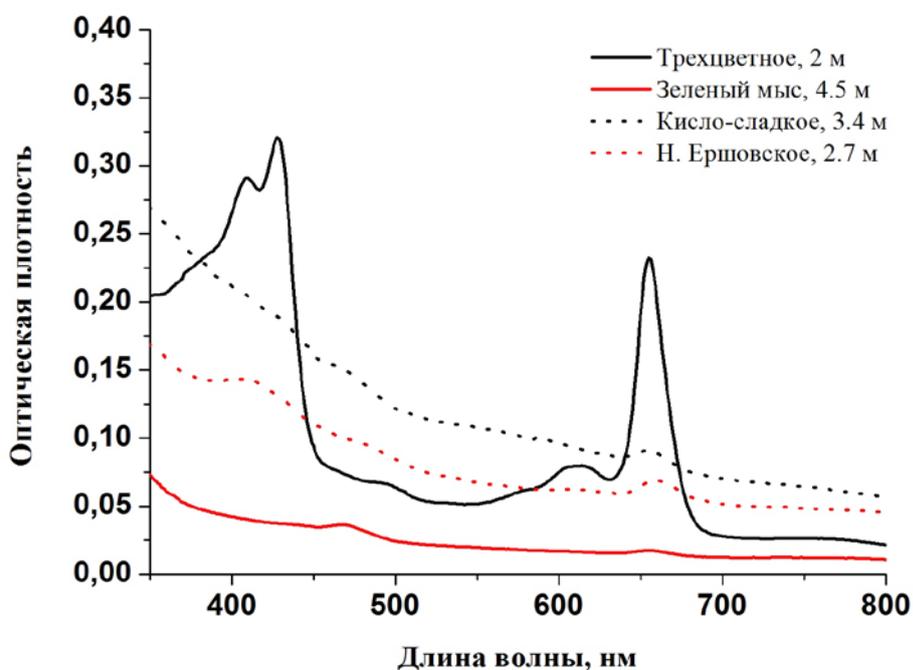
**Рис. 14.5.** Спектры оптической плотности образцов воды из отделяющихся водоемов с наиболее интенсивной окраской, измерены на спектрофотометре Unico.

По спектрам поглощения ацетон-метанольного экстракта образца воды из озера Трехцветного (2,0 м) была рассчитана концентрация БХЛ ( $d + e$ ) по формуле:

$$C(\text{мкг БХЛ}(d + e)) = (1,315 \times E_{655} - 0,643 \times E_{667} + 0,005) \nu \times 10^6 / (V \times d \times \varepsilon \times \text{БХЛ } d),$$

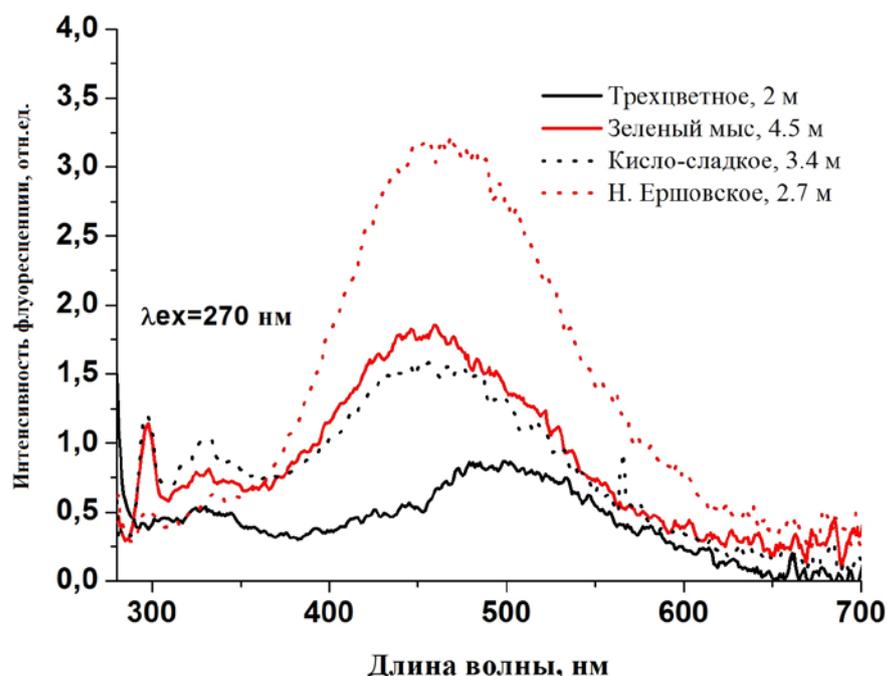
где  $C(\text{мкг БХЛ}(d + e))$  – концентрация бактериохлорофиллов  $d + e$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ),  $E_{655}$ ,  $E_{667}$  – светопоглощение ацетон-метанольного экстракта пигментов при длине волны 655 и 667 нм (исключая мутность, измеренную при  $E_{850}$ ),  $\nu$  – объем ацетон-метанольного экстракта (мл),  $V$  – объем исходного образца воды (мл),  $d$  – ширина кюветы (см),  $\varepsilon$  – абсорбционный коэффициент ( $\varepsilon_{\text{БХЛ } d} = 98,0 \text{ мг}/\text{см}$ ) [44] (рис. 14.6).

Рассчитать значения концентраций в остальных озерах данным методом не удалось (из-за низких значений оптической плотности), они вычислялись из известных соотношений содержаний микроорганизмов в слоях воды.



**Рис. 14.6.** Спектры оптической плотности ацетон-метанольных экстрактов образцов воды с наиболее интенсивной окраской из отделяющихся от Белого моря водоемов.

Спектры испускания флуоресценции при возбуждении светом длиной волны  $\lambda_{\text{ex}} = 270$  нм измерялись в спектральном диапазоне 280-820 нм (рис. 14.7). Данный спектр содержит максимумы, характерные флуоресценции белков (на длине волны в области 330 нм) и гуминовым веществам (широкий максимум в диапазоне 370-600 нм).



**Рис. 14.7.** Спектры испускания флуоресценции образцов воды из отделяющихся водоемов с наиболее интенсивной окраской при возбуждении на длине волны  $\lambda=270$  нм.

Спектры испускания флуоресценции образцов воды с наиболее интенсивной окраской при возбуждении длинами волн  $\lambda_{ex} = 390$  и  $440$  нм регистрировались в спектральном диапазоне  $400-820$  нм и  $450-820$  нм соответственно (рис. 14.8-14.9). Максимумы на длинах волн  $610$  и  $670$  нм появляются из-за гибели клеток зеленых серных бактерий при воздействии неблагоприятных внешних условий.

Для спектров испускания флуоресценции зеленых серных бактерий при возбуждении светом длиной волны  $\lambda_{ex} = 390$  и  $440$  нм характерен максимум в районе  $740-770$  нм. Для чистых культур зеленоокрашенных зеленых серных бактерий он расположен в более длинноволновой области по сравнению с коричневоокрашенными культурами [45].

В спектрах присутствует максимум на длине волны  $815-820$  нм, он соответствует испусканию бактериохлорофиллом *a*.

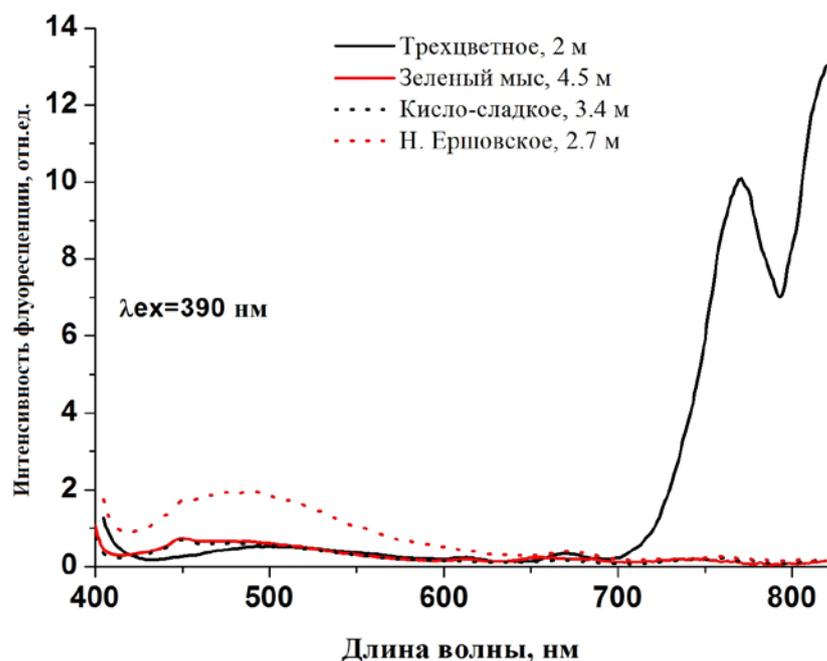


Рис. 14.8. Спектры испускания флуоресценции образцов воды с наиболее интенсивной окраской при возбуждении светом длиной волны  $\lambda_{ex} = 390$  нм.

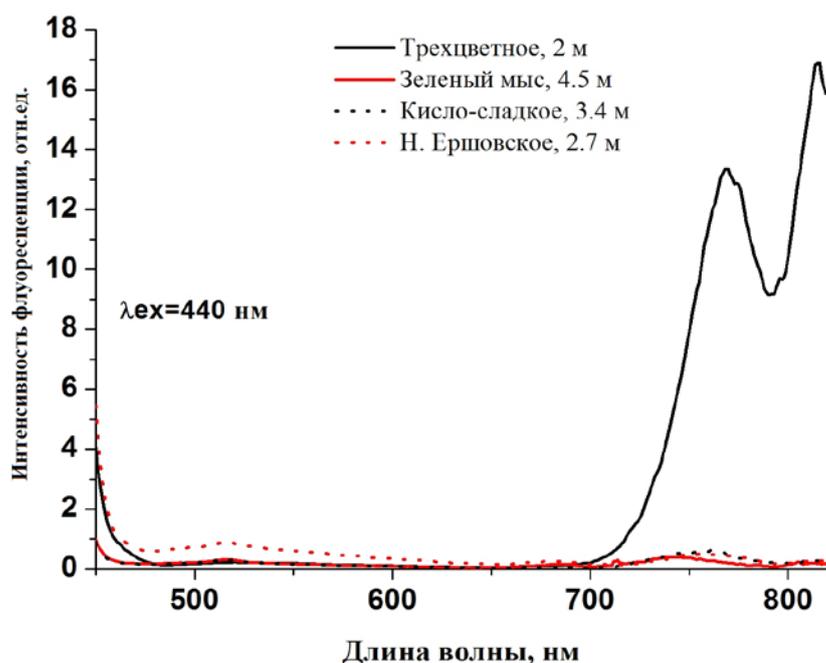


Рис. 14.9. Спектры испускания флуоресценции образцов воды с наиболее интенсивной окраской при возбуждении светом длиной волны  $\lambda_{ex} = 440$  нм.

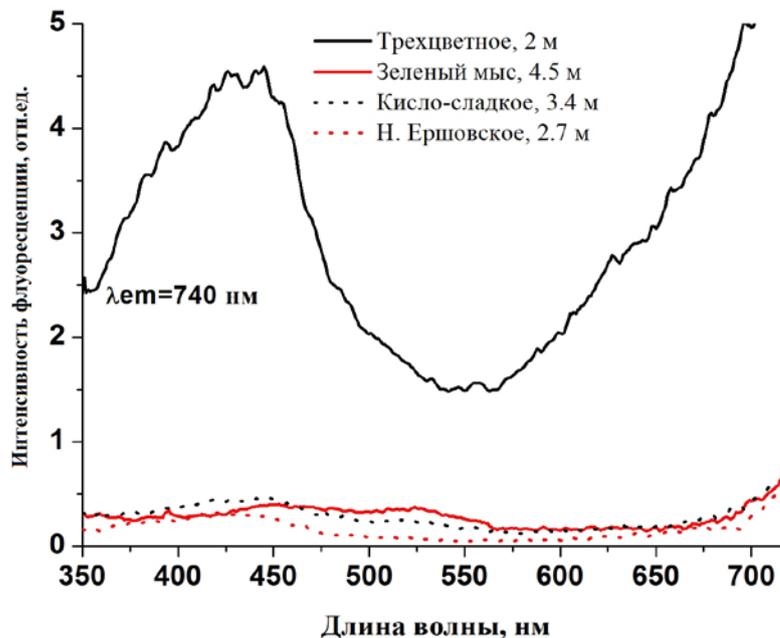
По положению максимума в районе 740-770 нм оценено относительное содержание разных типов зеленых серных бактерий в слое с максимальной интенсивностью окраски (рис. 14.10). Используя программу Origin, данный максимум раскладывался на две гауссианы с максимумами на длинах волн 740 и 770 нм, затем находилось отношение площадей под кривыми, что соответствует соотношению в образцах воды концентраций зеленоокрашенных и коричневоокрашенных зеленых серных бактерий.

В озере Трехцветном на глубине 2 м присутствовали только зеленоокрашенные ЗСБ –  $(98,0 \pm 2,0)$  %, в озерах Н. Ершовском на глубине 2,7 м и Кисло-Сладком на глубине 3,4 м

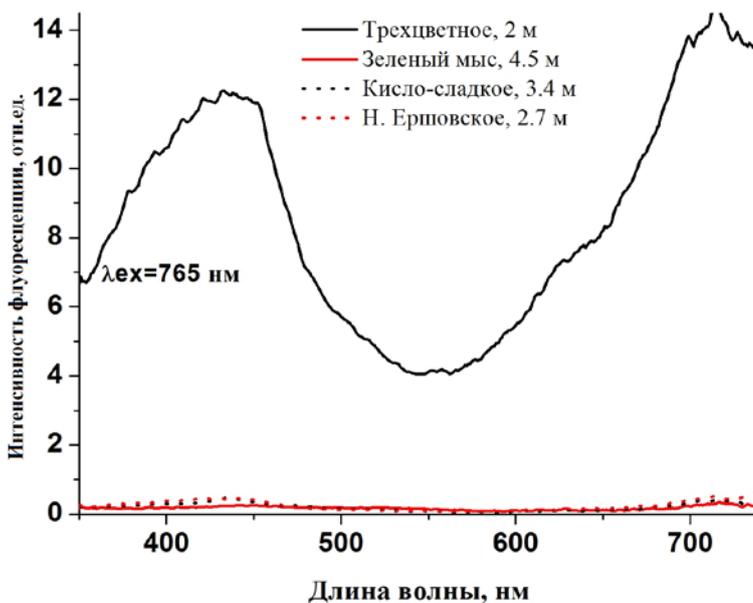
было обнаружено большее количество зеленоокрашенных ЗСБ –  $(70,1 \pm 2,5) \%$  и  $(60,1 \pm 3,0) \%$  соответственно, в лагуне на Зеленом мысу на глубине 4,5 м преобладали коричневоокрашенные ЗСБ –  $(53,3 \pm 3,3) \%$ .

По сравнению с измерениями, проведенными в августе-сентябре 2014, относительное содержание зеленоокрашенных зеленых серных бактерий в озере Кисло-Сладком и лагуне на Зеленом мысу увеличилось на 10 %, в озере Нижнем Ершовском – уменьшилось на 30%.

Спектры возбуждения флуоресценции образцов воды с наиболее интенсивной окраской при регистрации на длинах волн  $\lambda_{em} = 740$  и  $765$  нм регистрировались в спектральном диапазоне 350-720 нм и 350-750 нм соответственно. Данные спектры по форме повторяют спектры поглощения и имеют те же максимумы.



**Рис. 14.10.** Спектры возбуждения флуоресценции образцов воды с наиболее яркой окраской,  $\lambda_{em} = 740$  нм.

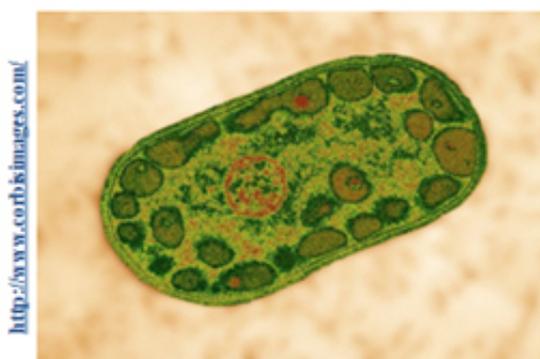


**Рис. 14.11.** Спектры возбуждения флуоресценции образцов воды с наиболее яркой окраской,  $\lambda_{em} = 765$  нм.

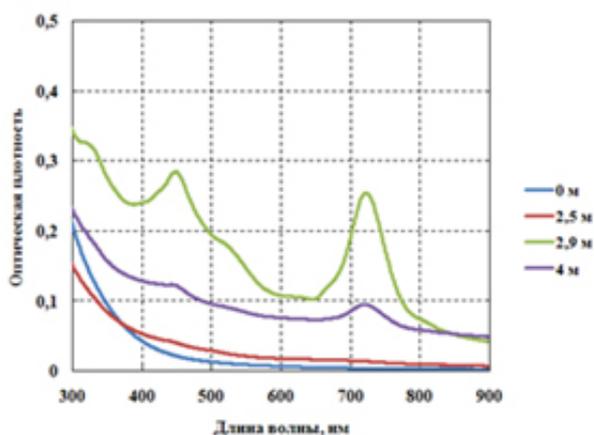
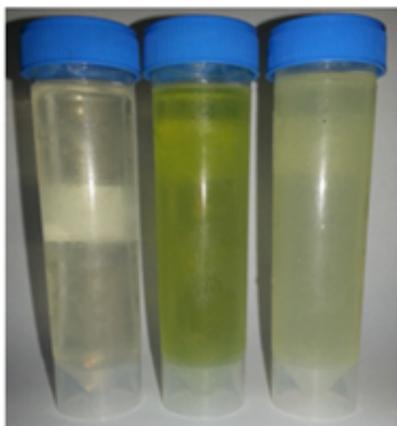
На основании всех полученных данных были вычислены концентрации БХл *d* и *e* в отделяющихся водоемах на глубинах с наиболее интенсивной окраской воды (табл. 14.5).

**Табл. 14.5.** Соотношение зеленоокрашенных и коричневоокрашенных зеленых серных бактерий в отделяющихся водоемах на глубинах с наиболее интенсивной окраской.

	Глубина слоя с наиболее интенсивной окраской, м	Концентрация БХл <i>d</i> , мг/м <sup>3</sup>	Концентрация БХл <i>e</i> , мг/м <sup>3</sup>
Лагуна на Зеленом мысу	4,5	132 ± 8	150 ± 9
Кисло-Сладкое	3,4	144 ± 7	94 ± 5
Нижнее Ершовское	2,7	382 ± 16	158 ± 14
Трехцветное	2,0	10727 ± 219	219 ± 4



**Клетка зеленой серной бактерии**



**Спектры оптической плотности проб воды из озера Елового с зелеными серными бактериями**

## 15 ОСОБЕННОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ИССЛЕДУЕМЫХ ВОДОЕМАХ ЗИМОЙ 2015 Г.

Во время экспедиции на озёрах п-ва Киндо и на Белом море были проведены измерения толщины льда. Также существует способ оценки нарастания льда по установлению эмпирической связи толщины льда от суммы отрицательных температур воздуха (в нашем случае – средних суточных температур). Для подсчета теоретического нарастания льда описанным способом для рек используют формулы Быдина. В первом приближении можно применить формулу и для озёр. За период времени с 01.10.2014 по 20.01.2015 сумма отрицательных температур, измеренной на пирсе ББС, равна: -508,8 (80 значений). Теоретическая толщина льда за это время составит 45 см, что очень близко к реальным значениям на большинстве озёр: Верхнее 44 см (для Водопроводного условия похоже), Трехцветное 39 см, Кисло-Сладкое 44 см, озеро-лагуна на Зеленом Мысу 44 см. Меньше результат вычисления подходит для Нижнего Ершовского, где толщина льда 37 см, что может быть связано с территориальным расположением озера (табл. 15.1). В целом, с учетом возможных погрешностей, вычисленный результат почти полностью коррелирует с реальным.

Табл. 15.1. Характеристики ледяного покрова исследуемых водных объектов

Озеро, дата	Толщина льда, см	Описание льда
Верхнее 30.01.15	44	<p>На поверхности льда в данной точке было сухо, в других частях озера у берегов вода на льду. При отборе разделился на три части: верхняя 15 см из двух слоев - верхний кристаллический (0-8 см), нижняя часть очень рыхлый снежный (8-15), между первым и вторым слоем - прослойка воды (при бурении), средняя часть 15 см: верхний 15-22 см - снежный рыхлый, нижний кристаллический (22-30) см, третий кусок состоит из кристаллического льда мощностью 15 см</p>  

Трехцветное 31.01.15	39		<p>На поверхности льда в данной точке было сухо, в других частях озера у берегов вода на льду. При отборе керн разделился на два куска: первый мощностью 10 см (0-8 - более темный ; 8-10 более светлый), далее была прослойка воды (отобрана проба). Второй кусок мощностью 29 см (10-26 снежный, более рыхлый, чем наверху, со слоями - прозрачный-белый. 26-39 - кристаллический прозрачный лед).</p>
Нижнее Ершовское 01.02.15	37		<p>0-5 снежный, темный 5-10 снежный 10-15 от второго куска снежный лед 15-20 снежный 20-25 кристаллический прозрачный с пузырьками внутри 25-30 кристаллический прозрачный с пузырьками внутри 30-37 кристаллический прозрачный с пузырьками внутри</p>
Кисло-Сладкое 02.03.15	44		<p>На поверхности льда слой воды до 5-15 см. Первые 6 см лед белый снежный, далее (6-12) серо-белый снежный, 12- 17 серый, 17-27 серый мутный с вкраплениями снега, 27-32 мутный серый, 32-44 более прозрачный.</p>



Зеленый  
Мыс 03.02.15

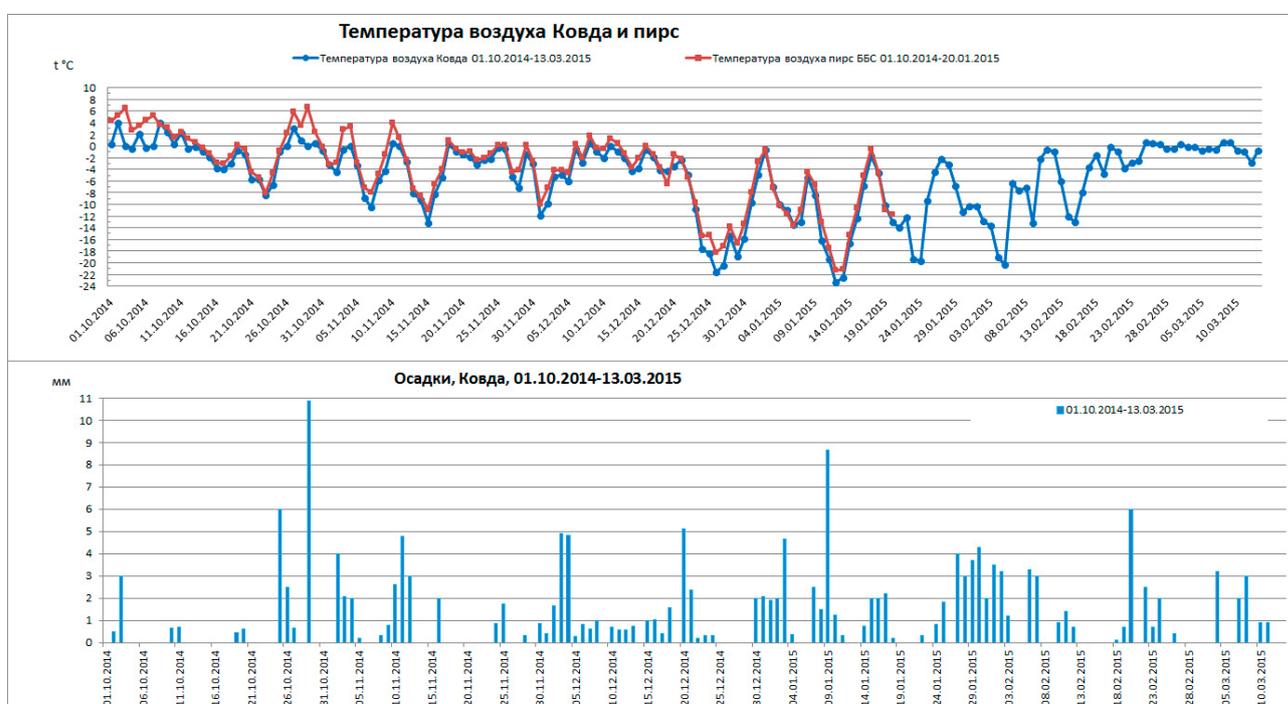
44



На поверхности льда вода толщиной 10 см. Единый керн. Первые 18 см белый снежный лед, 18- 22 относительно прозрачный, 22- 28 снова более белый, 28-34 кристаллический, 34- 39 прозрачный кристаллический, 39- 44 рыхлый игольчатый белый лед.

<p>Белое море 28.01.15</p>	<p>27</p>		<p>На поверхности льда везде вода. Первые 10 см лед снежный, белесый, 10- 15 снежный, белесый, переходный, более прозрачный, граница не видна, 15- 27 см лед кристаллический, прозрачный.</p>
--------------------------------	-----------	--	---

**Влияние метеоусловий на образование ледяного покрова.** Сравнив графики, построенные на основе данных по температуре воздуха для Кандалакши и ББС, мы видим их сходство, но с некоторыми различиями (рис. 15.1). В частности, температура воздуха для ББС всегда выше на несколько градусов или долей градуса, что объясняется отепляющим влиянием Белого моря на станцию.



**Рис. 15.1.** График колебаний температуры воздуха и осадков по м/с Ковда и на пирсе МГУ за 1.10.2014-15.03.2015

Анализируя данные по среднесуточным температурам воздуха и количеству выпавших осадков, видно, что с 14 по 25 октября 2014 г. на озерах мог начать формироваться тонкий лед, но с 26 по 4 ноября заметно потеплело, шли сильные дожди (до 11 мм осадков). До 12 ноября температуры воздуха менялись от отрицательных до положительных значений, т.е. устойчивый ледяной покров сформироваться не мог. С 12 ноября температура воздуха начала опускаться ниже 0 °С и до 6 декабря сложились благоприятные условия для формирования льда на поверхности озер. С 6 до 12 декабря потеплело, лед мог подтаять. Начиная с 13 декабря и до конца рассматриваемого отрезка времени, температура воздуха стала меньше 0 °С, выпадали твердые осадки (максимум – 8,7 мм). Именно в этот период на озерах начал ак-

тивно формироваться ледяной покров. Стоит отметить амплитудный характер графиков изменения среднесуточных температур, с наименьшим значением  $-23,3^{\circ}$  (12.01.15), а также с тремя кратковременными повышениями температуры до нулевых значений. Эти непродолжительные повышения температуры могли стать причиной подтаивания льда.

Ко времени приезда экспедиции на ББС на озерах образовался лед со средней толщиной 42 см. Из-за большого количества снежных осадков на льде почти на всех озера присутствовал слой воды, что может быть объяснено продавливанием ледяного покрова под тяжестью снега.

## 16 ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Во время проведения зимнего НСО 2015 г. в план обязательных к выполнению работ входила снегомерная съёмка. Цель исследований — получение представления о пространственном распределении высоты, плотности и запаса воды в снежном покрове в пределах полуострова Киндо в бассейнах исследуемых озёр.

**Методика снегомерной съёмки.** Снегомерные съёмки на маршрутах проводились с помощью снегомерных реек М-104 (рис. 16.1) и весового снегомера ВС-43. Снегомер состоял из металлического цилиндра и весов, на одном конце цилиндра имелось кольцо с режущими зубьями, а другой конец закрывался крышкой. Снегомерная рейка имеет вид деревянного прямоугольного бруска с нанесенной краской делениями, конец рейки имеет вид равно-стороннего клина, защищенного металлическим концом, совпадающего с нулевым делением шкалы. Снеговой весомер ВС-43 является плотномером, то есть служит для измерения интегральной плотности снега. Основная часть снегомера — полый цилиндр с площадью сечения 50 см<sup>2</sup> с пилообразным краем. При измерении снегомер отвесно погружают в снег до момента соприкосновения края с поверхностью земли, после чего вырезанный керн снега, аккуратно вынимают вместе с цилиндром и взвешивают. Взятую пробу взвешивают при помощи специального безмена, входящего в стандартную комплектацию прибора. Одно деление данных весов составляет 5 г.



**Рис. 16.1.** Снегомерная рейка и весовой снегомер ВС-43.

Съёмка проводилась в дневное время суток, бригадой из 3-4 студентов, каждый из которых выполнял определенную функцию. При снегомерной съёмке непосредственно на местности измерялись следующие параметры: толщина снежного по-

крова (см), масса снега внутри снегомера (значения по весам).

Позже, при камеральной обработке данных вычислялись также такие параметры, как масса снега (в г.), плотность снега (в г./см<sup>3</sup>) и запас воды в снежном покрове (в мм.). Плотность снега и запас воды в снежном покрове вычисляется по формулам:

$$\rho = (M - m) / 10 * h,$$

$$SWE = 10 \frac{\rho_{сн}}{\rho_{в}} h.$$

Здесь –  $\rho_{сн}$  – плотность снега,  $\rho_{в}$  – плотность воды,  $SWE$  (*snow water equivalent*) – снегозапас,  $M$  – отсчет по плотномеру,  $m$  – место «нуля» плотномера,  $h$  – высота снежного покрова. Съёмка выполнялась в дневное время командой, включающая в себя 3 человека, так как такое количество людей было оптимально для работы. Измерения высоты снежного покрова проводилось через каждые 10 метров, расстояние отсчитывалось по туристическому GPS приемнику Garmin Montana T650. Каждые 30 или 50 метров ( в зависимости от общей протяженности снегомерного маршрута) проводилось измерение плотности снега. Каждая такая точка фиксировалась и заносилась в память GPS-приёмника, а также дублировалась в полевом дневнике.

Маршруты планировались таким образом, чтобы имелась возможность получить данные о состоянии снежного покрова в различных ландшафтных условиях: лес или озеро (рис. 16.2).



Рис. 16.2. Во время полевых работ.

**Результаты полевых измерений основных характеристик снега.** Во время экспедиции были проложены 6 характерных маршрутов через водосборы исследуемых озер, а так же вдоль склона горы Радикулит (рис. 16.3.).

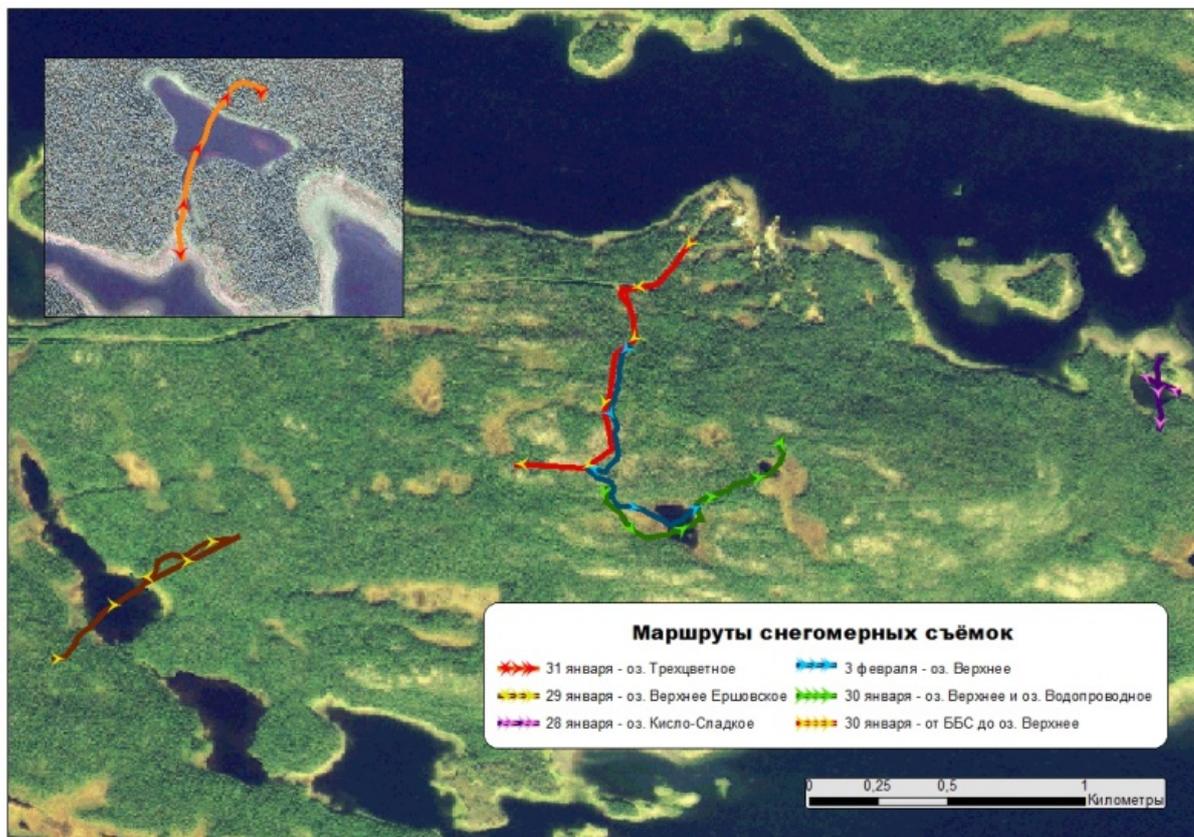


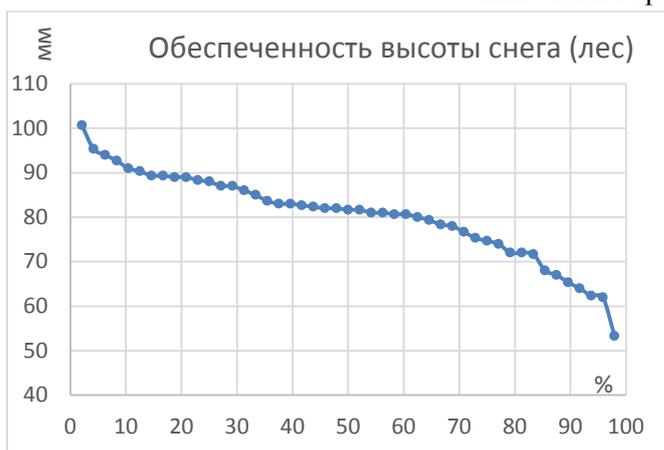
Рис. 16.3. Схема маршрутов снегомерных съёмок.

Из-за погодных условий, препятствующих выезду на полевые работы достаточного количества человек, в этом году по сравнению с прошлым не удалось провести съемку на водосборах Нижнего Ершовского и озера на Зеленом мысу. Однако, как показали, результаты, значения от водосбора к водосбору схожи. Это обуславливается слабой связью величин значений от типа ландшафта или даже ориентации склона. В качестве причин такого явления можно выделить невысокий процент сомкнутости крон леса (то есть плотность древостоя),

который не позволяет проявиться ярко разнице средних значений высоты снежного покрова между залесенными участками и свободными от растительности такими, как опушки и болота. Так же причиной является большая изменчивость значений в пределах одного ландшафта: кочки на болотах, искори и камни в лесу, на вершинах которых наблюдаются пониженные значения мощности снега, зачастую чередуются с повышенными значениями в соответствующих им локальных понижениях рельефа (рис. 16.4.). Однако при всем единообразии все же можно выделить основные закономерности. Так минимальные значения высоты снега приурочены к относительно открытым местностям (поверхность озера, вершина горы), где наблюдается дефляция снега. Кроме того, на склонах снега так же меньше, чем на субгоризонтальной поверхности. Максимальные значения высоты снега приурочены к отрицательным формам рельефа (заполнение локальных депрессий путем ветрового переноса снега), а также на границе озера с болотом (2) и болота с лесом, где резко падают скорости (рис. 16.5).



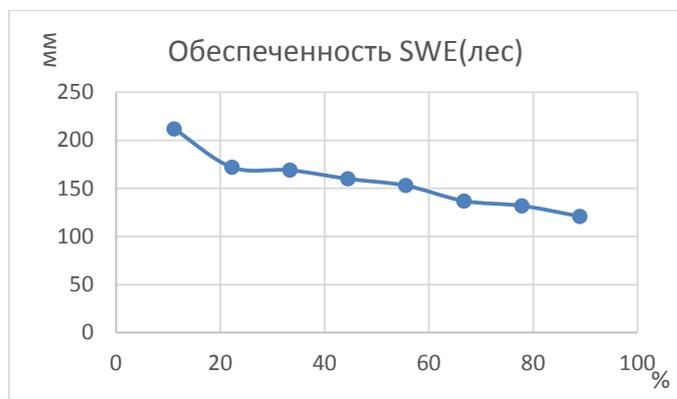
**Рис. 16.4.** График распределения высоты снежного покрова на профиле через озеро Водопроводное: 1. Поверхность озера, 2. Береговая зона-граница между озером и болотом и 3. Болото и залесенный склон горы Раликулит.



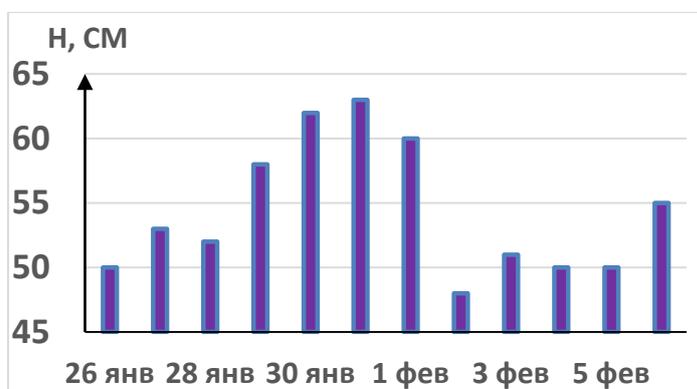
**Рис. 16.5.** График обеспеченности высоты снежного покрова для лесной части водосбора озера Водопроводное

Из графика на рис. 16.5 видно, что в 50% случаев высота снега в лесу составляет более 82 см. На озерах же колебания мощности снежного покрова незначительны. В среднем высота снега на озерах составляет 32 см. В большинстве случаев плотность снега прямо пропорциональна высоте снежного покрова. Из графика на рис. 16.6 видно, что в 50% случаев влагозапас в снеге в лесу составляет более 152 мм воды. Примеры значений соответствуют второй половине практики после выпадения крупных осадков. Резкий рост высоты снежного покрова можно проследить с 29 по 31 января по графику, построенному на основе данных

кандалакшской метеостанции на рис. 16.7. Они отличаются от измеренных нами на снегомерных маршрутах более чем на 20 см, это обусловлено особенностью расположения и рельефа п-ва Киндо, на котором располагается биологическая станция, а именно непосредственной близостью к морю и наличием горы Радикулит.



**Рис. 16.6.** График обеспеченности запаса воды в снежном покрове для леса.



**Рис. 16.7.** Изменение высоты снежного покрова по м/с Кандалакша с 26.01 по 6.02.2015 г.

После снегопада относительно равномерная структура снежного покрова со средней плотность порядка  $0,11 \text{ г/см}^3$  изменилась. Во время снегомерной съемки 31 января было установлено, что снег имеет несколько горизонтов различной плотности. Верхний рыхлый слой составлял порядка 28-30 см, а плотность всего  $5 \text{ г/см}^3$  (рис.7). Следующий слой отделяется от предыдущего тонкой (1-2 см) коркой плотного снега. Вероятнее всего корка образовалась в результате небольшой оттепели, наблюдавшейся в эти числа. Толщина нижнего слоя составляла порядка 40-60 см, плотность в среднем  $0,20 \text{ г/см}^3$ . Увеличение плотности и мощности снежного покрова привели так же к увеличению значений запаса воды в снежном покрове на различных ландшафтах (рис. 16.8).

На озерах снег имеет однородную довольно рыхлую структуру, плотность снега составляет  $0,12 \text{ г/см}^3$ . На некоторых озерах наблюдается выход воды на лед из-за чего суммарная плотность снега увеличивается в несколько раз. Выход воды на лед скорее всего обусловлен довольно высокой температурой воздуха, из-за которой лед стал менее прочным и пластичным. Сильные снегопады в период наблюдений способствовали деформации льда, что и повлекло за собой выход воды на лед.

**Расчет запаса воды на водосборе озер.** Чтобы на основе полевых данных попытаться оценить запас воды на водосборах озер, было решено использовать средние значения для определенных типов ландшафтов (по аналогии с результатами для маршрута через гору Радикулит, представленными на рис. 16.8-16.9) и отнести эти значения к площади каждого из них внутри водосбора. На основе генерализации подробной карты растительности полуост-

рова Киндо (рис 16.10), выполненного Натальей Косевич (кафедра геоморфологии) в 2009 году, космического снимка на рассматриваемую территорию, а также с учетом записей полевых дневников для каждого водосбора было выделено пять основных растительных сообществ: лес, кустарники, болото, приморские луга и безлесные поверхности скал, покрытые лишайниками.

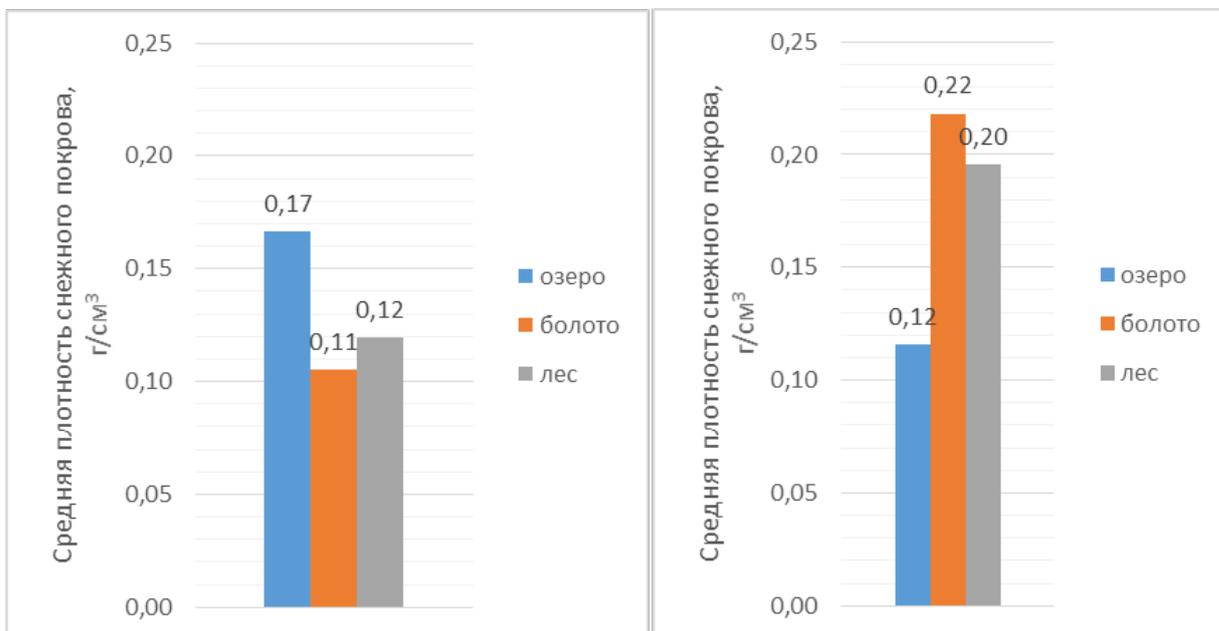


Рис. 16.8. Плотность снега. Слева 30.01, справа 03.02 (после снегопада).

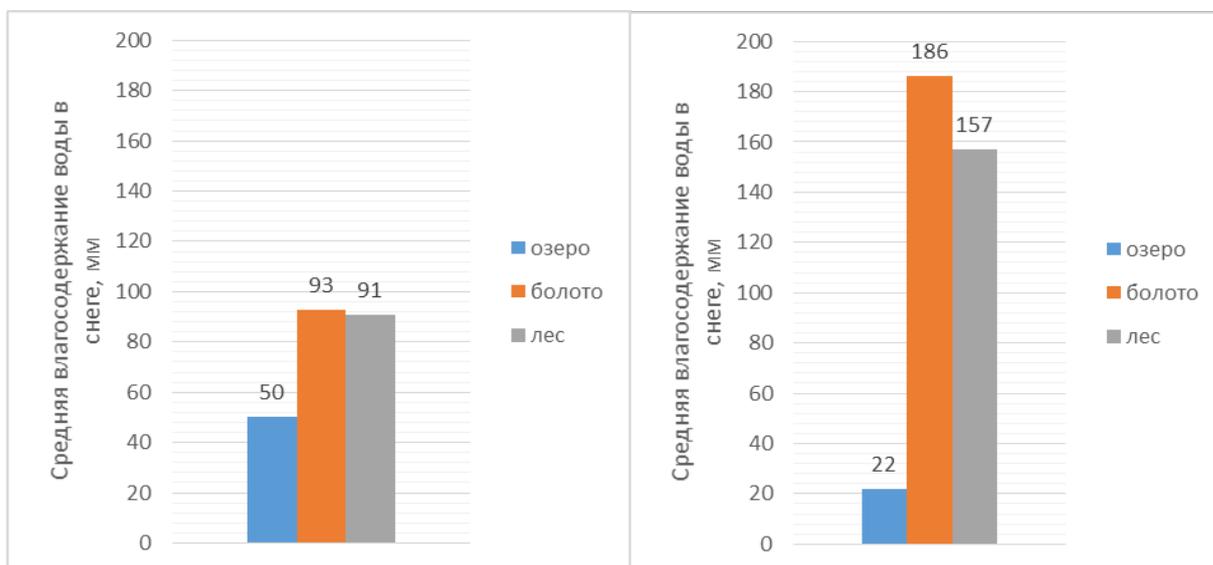


Рис. 16.9. Среднее влагосодержание воды в снеге. Слева 30.01, справа 03.02(после снегопада).

На основе подготовленных проектов (рис. 16.11-16.18) для каждого озера была сделана краткая характеристика типов растительности и ее доли от площади водосбора:

### Описание ландшафтов на водосборе.

**Кисло-Сладкое озеро.** Общая площадь водосбора данного озера составляет  $F= 0,157$  км<sup>2</sup>. На диаграмме (рис. 16.11) видно, что наибольшую долю от общей площади водосбора

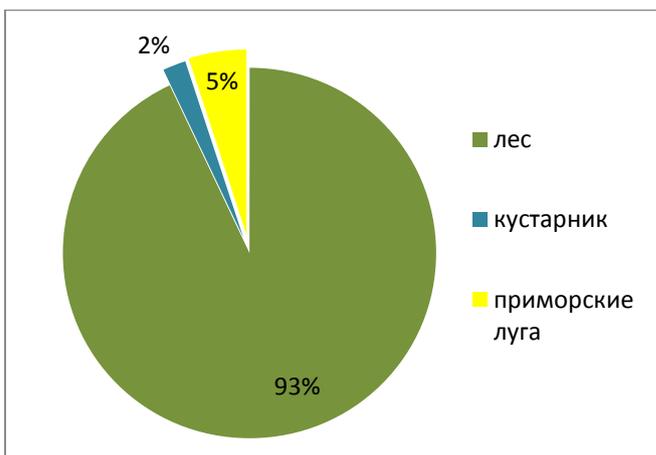
имеет лес. По данным геоботанической карты в бассейне озера Кисло – Сладкого преобладают следующие лесные ландшафты:

- Сосновые и березово – сосновые леса бруснично–зеленомошные и бруснично – лишайниково - зеленомошные;
- Сосняки с небольшой примесью ели или берёзы;
- Березово – сосновые и сосново–березовые с небольшой примесью ели и редким подлеском рябины;
- Осинник травяной или кустарничково–травяной на месте вырубок или гарей;
- Первичные березняки по опушкам вдоль морских побережий.

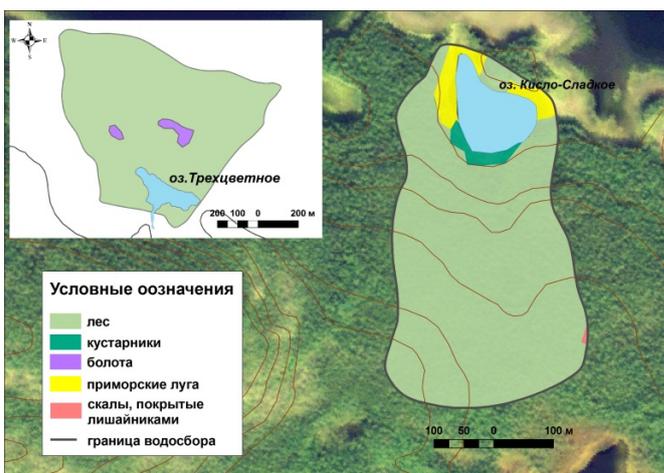


Рис. 16.10. Растительность полуострова Киндо.

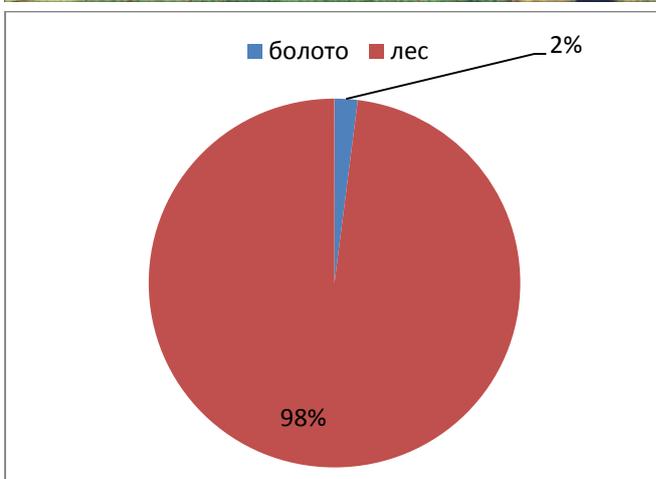
**Озеро Трехцветное.** Общая площадь водосбора данного озера  $F=0,644 \text{ км}^2$ . Преобладающим типом растительности на данном водосборе является лесной, кроме того небольшую долю от общей площади занимают болота и соответствующие им типы растительности (рис. 16.13.). Однако, к сожалению, из-за отсутствия подробной информации на данном озере не удалось более подробно выделить ландшафты.



**Рис. 16.11.** Соотношение различных ландшафтов на водосборе о. Кисло- Сладкое.



**Рис. 16.12.** Типы растительности для водосборов озер Кисло-Сладкое и Трехцветное.



**Рис. 16.13.** Соотношение различных ландшафтов на водосборе о. Трехцветное.

**Верхнее Ершовское озеро.** Общая площадь водосбора данного озера  $F = 2,029 \text{ км}^2$ . Здесь распределение ландшафтов аналогично о. Кисло-Сладкому (большую часть водосбора занимает лес), но также присутствуют и иные ландшафты: бараньи лбы и кустарники (рис. 16.14). Из лесных сообществ на территории данного бассейна произрастают:

- Вторичный березняк, чистый или с примесью сосны и осины, с подлеском ивы козьей;
- Сосновые и березово-сосновые леса бруснично-зеленомошные и бруснично-лишайниково-зеленомошные;
- Сосняки с небольшой примесью ели или берёзы;
- Осинник травяной или кустарничково-травяной на месте вырубок или гарей;
- Еловые и березово-еловые леса, багульниково-зеленомошные;

- Поскольку кроме леса крупная доля приходится на болото, стоит выделить следующие сообщества болот:
- Вахтово–кустарничково–сфагновые сплавины зарастающих озёр;
- Кустарничково–сфагновые верховые и переходные болота;
- Низинные и переходные осоковые, вахтово–осоковые и вахтово–пушицево–осоковые болота.



**Рис. 16.14.** Соотношение различных ландшафтов на водосборе о. Верхнее Ершовское

**Нижнее Ершовское озеро.** Общая площадь водосбора данного озера  $F = 3,254 \text{ км}^2$ . Данное озеро, по характеру растительности, ближе всего напоминает оз. Верхнее Ершовское (рис. 16.15-16.16) так как находится немного южнее, соседствует с ним. Их отделяет небольшая перемычка, поэтому существенных различий здесь нет, кроме тех, что:

- В сообществе лесов появляется вторичный березняк, отсутствует осинник;
- В сообществе болот присутствуют только лишь Вахтово–кустарничково–сфагновые сплавины зарастающих озёр.

**Озеро Верхнее.** Общая площадь водосбора данного озера  $F = 0,118 \text{ км}^2$ . Растительность, произрастающая на данном водосборе отличается от всех остальных относительной бедностью (рис. 16.17). Из лесных сообществ здесь присутствуют только сосняки с небольшой примесью ели или березы чернично-зеленомошные и разреженный сосняк лишайниковый в сочетании с сосняком бруснично – лишайниковым.

Болотные сообщества тут разнообразны, они представлены следующими типами:

- Кустарничково–сфагновые верховые и переходные болота;
- Болота комплексные молиниевые – кустарничково–сфагновые с редкой низкорослой сосной и карликовой березкой по грядам и с осоково-пушицевыми мочажинами

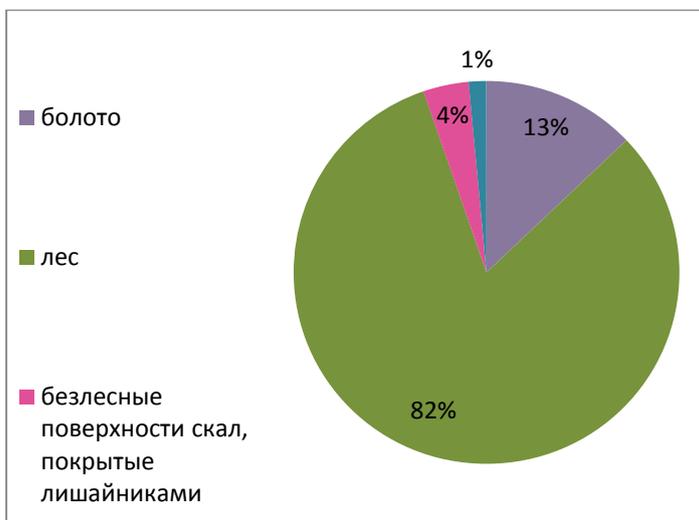


Рис. 16.15. Соотношение различных ландшафтов на водосборе о. Нижнее Ершовское

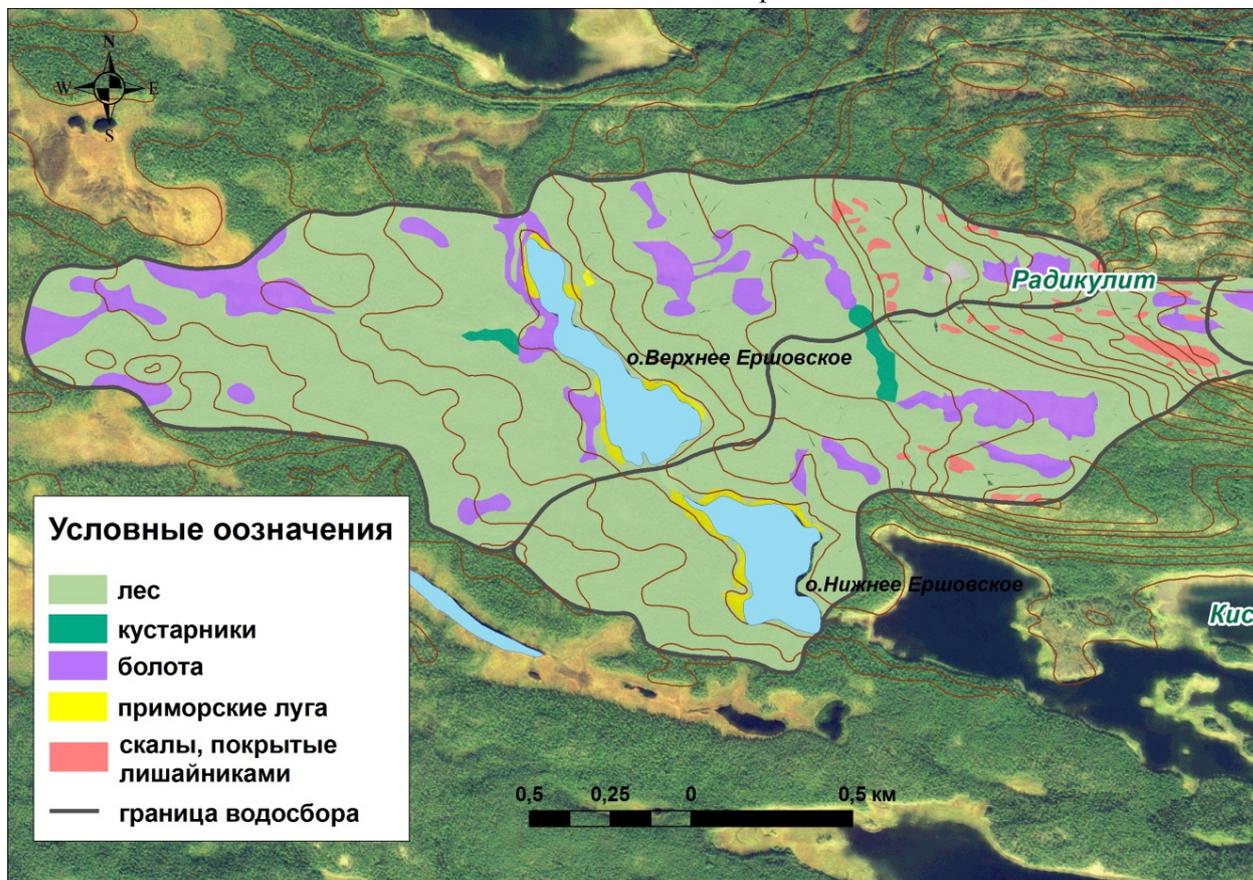
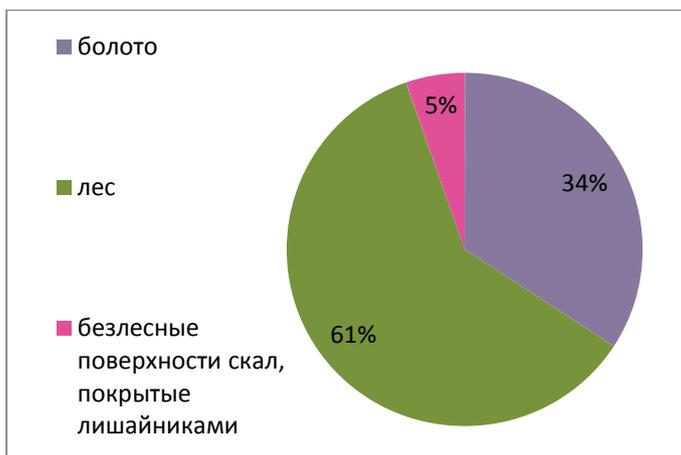


Рис. 16.16. Типы растительности для водосборов озер Нижнее и Верхнее Ершовские.



**Рис. 16.17.** Соотношение различных ландшафтов на водосборе о. Верхнее.

**Озеро Водопроводное.** Общая площадь водосбора данного озера  $F=0,167 \text{ км}^2$ . Растительные сообщества данного водосбора содержат наибольшую, среди всех представленных бассейнов озер, долю болотных сообществ (рис. 16.18, 16.19).

Лесные сообщества состоят здесь из:

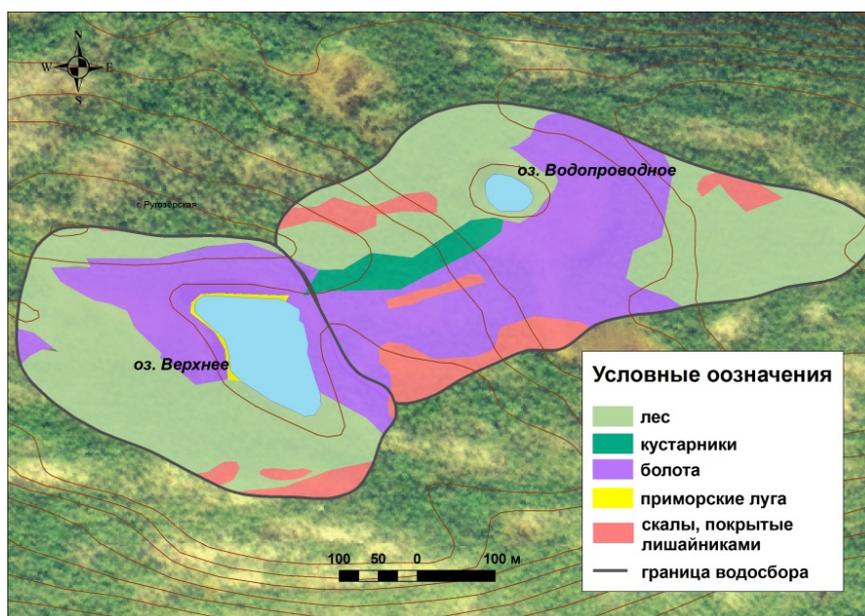
- Еловых и сосново–еловых лесов;
- Сосновые и березово-сосновые леса бруснично-зеленомошные и бруснично-лишайниково-зеленомошные;
- Вторичный березняк или сосново-березовый лес, иногда с примесью ели, осины, с подлеском из рябины, ивы, можжевельника кустарничково-зеленомошный;
- Разреженный сосняк лишайниковый в сочетании с сосняком бруснично-лишайниковым;

Болотные сообщества здесь несколько отличаются от тех, что были на соседнем Верхнем озере:

- Низинные и переходные осоковые, вахтово-осоковые и вахтово-пушицево-осоковые болота;
- Кустарничково-сфагновые верховые и переходные болота/



**Рис. 16.18.** Соотношение различных ландшафтов на водосборе о. Водопроводное.



**Рис. 16.19.** Типы растительности для водосборов озер Верхнее и Водопроводное.

**Методика и результаты.** На основе анализа маршрутных данных, как уже упоминалось, можно сделать вывод, что зачастую средние значения от ландшафта к ландшафту отличаются не сильно, кроме этого во время полевых работ не всегда удавалось осветить все типы ландшафтов на каждом водосборе. По этим причинам из пяти типов растительных сообществ для оценки общего запаса воды на водосборе были выделены два основных: лес, болото, а так же отдельно влагозапас считался для поверхности озер.

Для каждого из этих ландшафтов по данным снегомерной съемки рассчитывались следующие параметры:

- 1)  $h$  - средняя высота снега [см];
- 2)  $\rho$  - среднее значение плотности снега в долях от воды [безразмерная] – это величина равная  $\rho_{\text{снега}} [\text{г/см}^3] / \rho_{\text{воды}} [\text{г/см}^3]$ ;
- 3) Рассчитывалось среднее значение запаса воды для каждого ландшафта (SWE) в мм по формуле:

$$SWE = 10h\rho$$

- 4) Множитель 10 – коэффициент перехода из см в мм;
- 5) После этого получившееся значение среднего запаса воды на площади водосбора равную  $1\text{мм}^2$  пересчитывалось на всю площадь, которую занимает данный ландшафт по формуле:

$$SWE[\text{м}^3] = 10^{-3} * SWE[\text{мм}] * F[\text{м}^2].$$

Затем суммировались все получившиеся значения. Итого запас воды на всём водосборе озера  $[\text{м}^3]$ .

Данная методика достаточно грубая, но позволяет оценить запас воды на водосборе на даты проведения работ. Трудности вызывает проблема оценки данной величины для периода, предшествующего весеннему снеготаянию. Результаты расчетов для 2014 и 2015 годов представлены в табл. 16.1. При проведении полевых работ ожидалось, что значения запаса воды в снежном покрове за 2015 год превысят соответствующие за 2014, так как значения высоты снежного покрова еще до снегопада превосходили прошлогодние в среднем в 1.5-2 раза. Однако такое превышение снегозапасов наблюдается лишь для запаса воды на водосборе озера Верхнее 3-го февраля (см. табл. 16.1), то есть после упомянутого выше снего-

пада. Во всех остальных случаях значения за 2014 год примерно совпадают или являются большими, чем в 2015 году. Причина этого кроется в другой характеристике снежного покрова – плотности снега, которая в прошлом году в те же 1.5-2 раза превышала плотность снега этого года.

Табл. 16.1. Общие запасы воды на водосборе.

Озеро	Ландшафт	F, м <sup>2</sup>	Доля от общей F, %	Средний влагозапас для ландшафта 2015, мм	Средний влагозапас для ландшафта 2014, мм	Общий запас воды, м <sup>3</sup>	
				28.01.2015	29.01.2014	2015	2014
Кисло-сладкое	Лес	135550	84	74	105	10044	14246
	Кустарники и приморские луга	10244	6			759	1077
	зеркало озера	16159	10	21	11	337	170
	Весь водосбор	161953	100	69	96	<b>11140</b>	<b>15493</b>
				<b>29.01.2015</b>	<b>31.01.2014</b>	<b>2015</b>	<b>2014</b>
Верхнее Ершовское	Лес	1651315	81	93	81	153861	134388
	Кустарники и безлесные поверхности	32447	2			3023	2641
	Болото	267684,5	13	88	85	23500	22759
	зеркало озера	94629	5	38	45	3569	4220
	Весь водосбор	2046076	100	90	80	<b>183954</b>	<b>164007</b>
				<b>29.01.2015</b>	<b>31.01.2014</b>	<b>2015</b>	<b>2014</b>
Нижнее Ершовское	Лес	985938,4	81	93	81	91865	80238
	Кустарники и безлесные поверхности	44880,26	3,7			4182	3652
	Болото	109091	8,9	88	85	9577	9275
	зеркало озера	81025	6,6	38	45	3056	3614
	Весь водосбор	1220935	100	89	79	<b>108680</b>	<b>96779</b>
				<b>31.01.2015</b>	<b>02.02.2014</b>	<b>2015</b>	<b>2014</b>
Трехцветное	Лес	622618	93	116	130	71912	81164
	Болото	12869	2			1486	1678
	зеркало озера	32408	5	34	34	1102	1102
	Весь водосбор	667895	100	112	126	<b>74501</b>	<b>83944</b>
				<b>30.01.2015</b>	<b>01.02.2014</b>	<b>2015</b>	<b>2014</b>
Верхнее	Лес	64342	60	78	99	5008	6387
	Безлесные поверхности	5679	5			442,0	563,8
	Болото	36393	34	88	85	3195	3094
	зеркало озера	13868	13	49	38	676	522
	Весь водосбор	106414	100	88	99	<b>9321</b>	<b>10567</b>
				<b>03.02.2015</b>		<b>2015</b>	<b>2014</b>
Верхнее	Лес	64342	60	157		10102	
	Безлесные поверхности	5679	5			891,6	

	Болото	36393	34	186		6769	
	зеркало озера	13868	13	49		676	
	Весь водосбор	106414	100	173		18439	
				<b>30.01.2015</b>	<b>01.02.2014</b>	<b>2015</b>	<b>2014</b>
Водопроводное	Лес	72933	71			5714	8148
	Кустарники и без- лесные поверхно- сти	29181	29	78	112	2286,0	3260,1
	Болото	68094	67	88	85	5978	5789
	зеркало озера	2464	2	37	47	92	116
	Весь водосбор	102114	100	138	170	14069	17314

**Краткий анализ снегомерных работ предыдущих зимних практик.** Кафедрой гидрологии суши были проведены исследования снежного покрова на п-ве Киндо для периода зимней практики 2014 и 2015 годов. Кроме зимних НСО 2014 и 2015 на ББС МГУ снегомерные измерения проводились также в НСО 2010, 2011 и 2013 года студентами кафедры метеорологии и климатологии. К сожалению, в 2012 году такие измерения не проводились. Поскольку все наблюдения и последующий их анализ проводились по стандартизированной методике, то мы имеем право сравнить данные, полученные в ходе этих съемок.

В зимнем НСО 2010 года данные получали на 4 профилях, охватывавших весь полуостров Киндо. 3 профиля проходили субмеридионально и 1 субширотно (рис. 16.20). Анализ полученных в поле данных показал, что наибольшая плотность снега оказалась на 4-м (субширотном) профиле среди крупноглыбового курума – 265, 9 кг/м<sup>3</sup>, наименьшая на 2-м (субмеридиональном) профиле в сосняке – 111,3 кг/м<sup>3</sup>. Минимум же мощности снега наблюдался на вершине горы, где отсутствует растительность и дует сильный ветер. Интерпретация данных наблюдений выявила факторы, влияющие на распределение мощности и плотности снега:

- Плотность снега, как правило, возрастает вместе с его мощностью;
- Некоторое влияние оказывает характер и тип растительности;
- Мощность снега в среднем больше в районах снегонакопления ( отрицательный формы рельефа, бровки)
- Высота снега больше на пологих склонах, в то время как плотность больше на более крутых склонах.

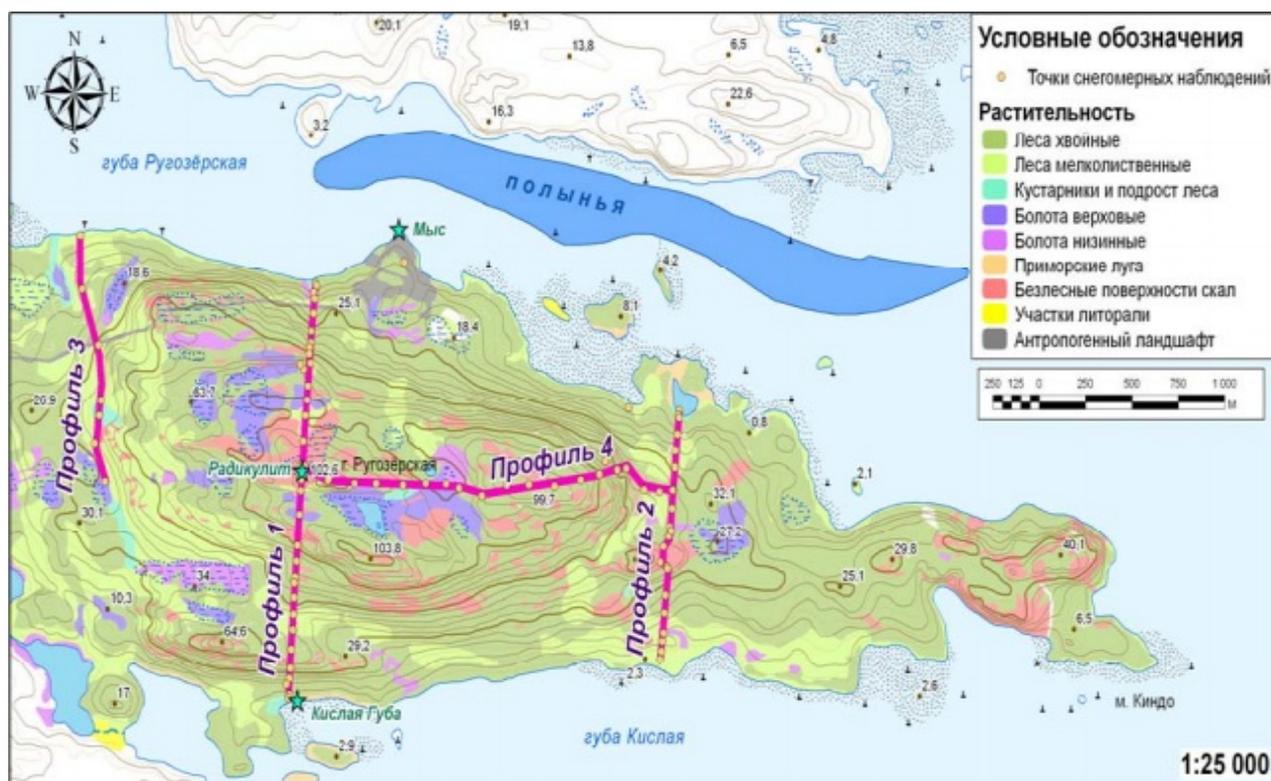


Рис. 16.20. Схема снегомерных маршрутов во время зимней практики 2010 года.

В рамках зимнего НСО 2011 года измерения проводились по четырем профилям, пересекающим полуостров Киндо: 2 профиля субширотные, 2 субмеридиональные (рис. 16.21). Всего было проведено 402 измерения мощности и 62 измерения его интегральной плотности. При этом максимальное значение мощности было зарегистрировано в *куруме* на профиле №2 (субмеридиональном) на склоне южной экспозиции – 87 см., минимальное же – на озере Кисло-Сладкое – 10 см. Максимальное значение плотности было обнаружено на профиле №4 – это пологий склон холма –  $0,37 \text{ г/м}^3$ , минимальное там же на субгоризонтальной поверхности, в сосняке –  $0,11 \text{ г/м}^3$ . В ходе анализа полученных данных были выявлены факторы, влияющие на измеряемые параметры снежного покрова:

- Тип и характер растительности;
- Крутизна поверхности, на которой лежит снег;
- Ветер

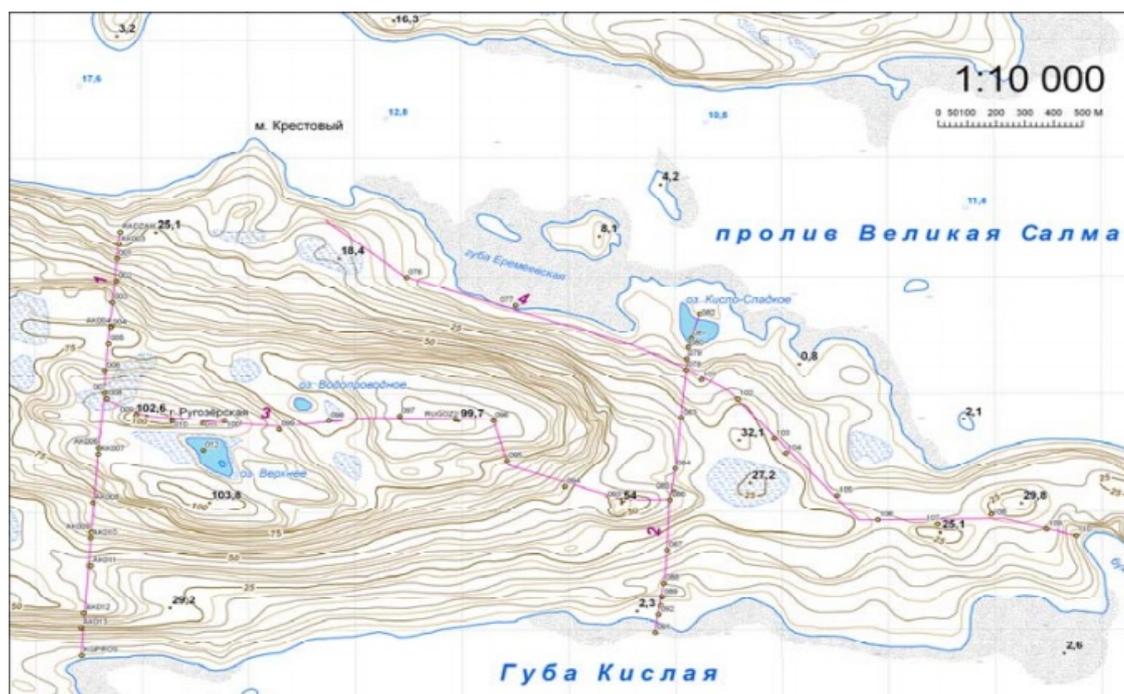


Рис. 16.21. Схема снегомерных маршрутов во время зимней практики 2011 г.

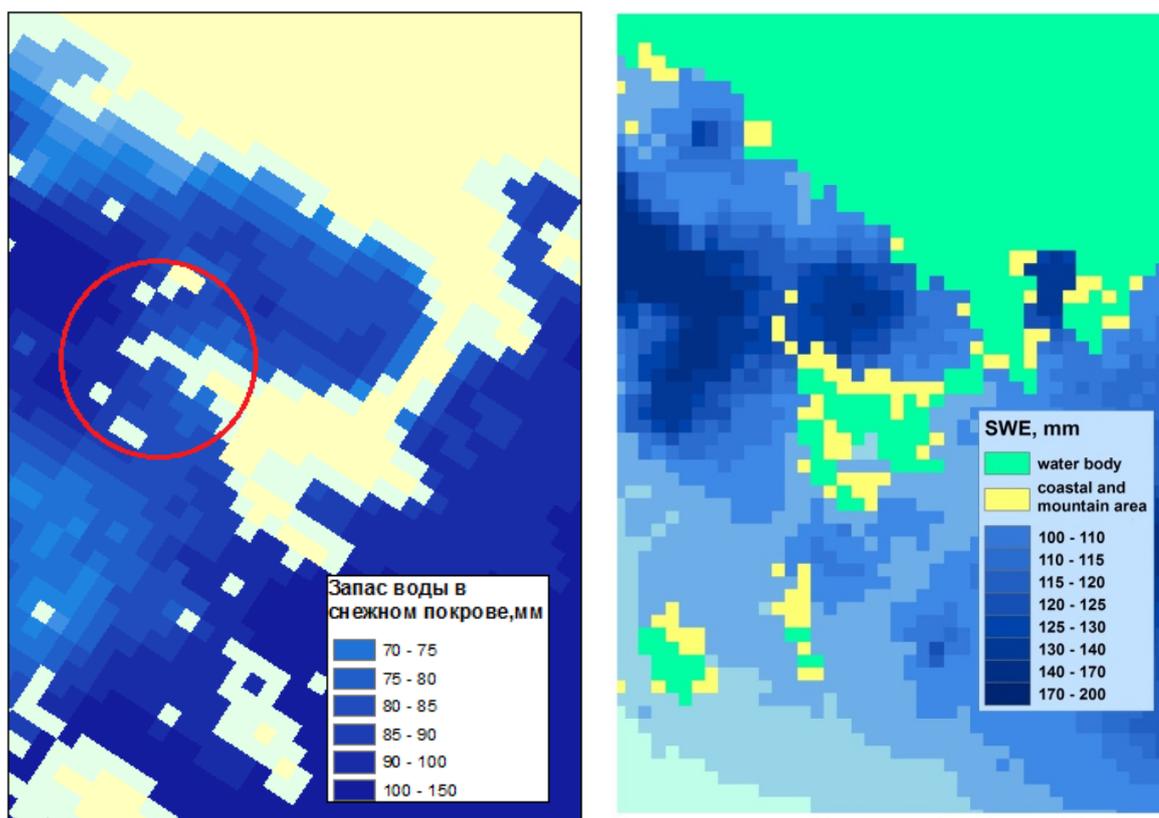
При этом данные снегомерной съемки, проводившейся в 2013 г. (рис. 16.22.), говорят о нескольких иных зависимостях. Поскольку в ходе анализа выяснили, что и максимальные, и минимальные значения плотности снега, например, соответствуют одному и тому же ландшафту: максимальная –  $222 \text{ кг/м}^3$  и минимальная –  $78 \text{ кг/м}^3$  – это смешанный лес. А максимальная мощность снега – 74, 5 см. наблюдалась на вершине горы, где он, следуя логике предыдущего отчета должен был сдуваться ветром. Какие же выводы делаются исходя из этих данных?

- На средние характеристики снежного покрова свойства ландшафта не влияют, но они незначительно влияют на внутриландшафтный разброс высот;
- Для плотности эта зависимость в целом верна, но на открытых участках ярко проявляется влияние ветра и солнечной радиации.



Рис. 16.22. Схема снегомерных маршрутов во время зимней практики 2013 г.

**Сравнение с данными дистанционного зондирования.** Для 2010, 2014 и 2015 гг. были получены значения о запасах воды в снежном покрове дистанционного микроволнового зондирования - измерение интенсивности излучения на частотах от 6 до 37 ГГц, которые в открытом доступе предоставляются в виде растровых карт с размером ячейки 25/25 км<sup>2</sup> Финским метеорологическим институтом (FMI) в рамках программы GlobSnow. Относительная прозрачность атмосферы в микроволновом диапазоне делает эти данные чрезвычайно перспективными для определения параметров снега, особенно для малонаселенных территорий, где другие источники данных отсутствуют.



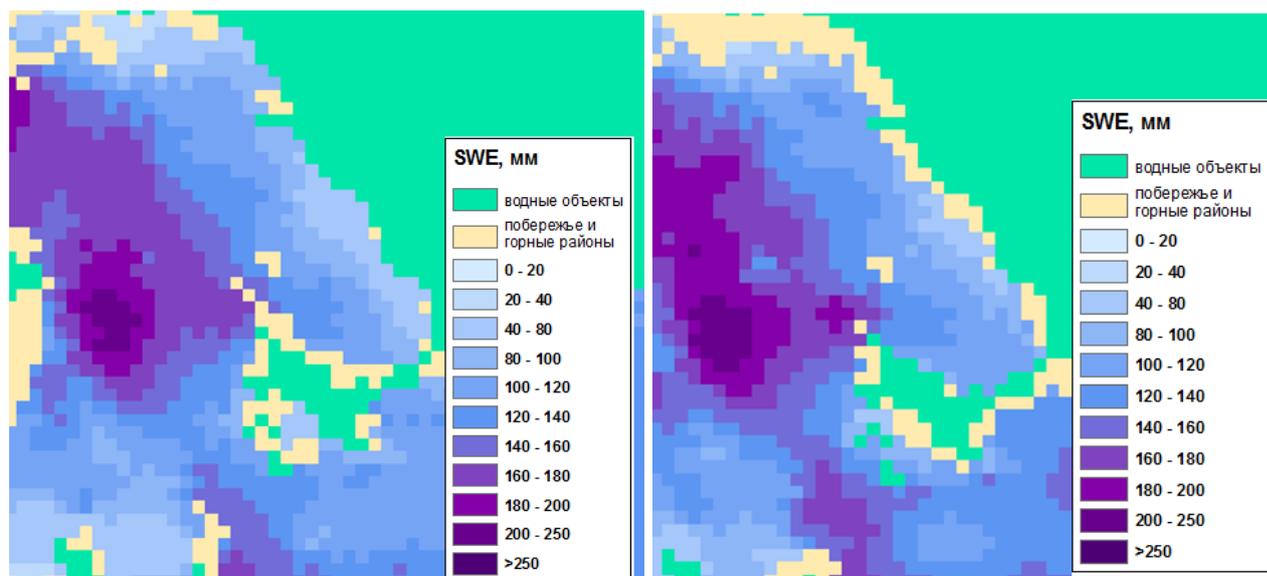
**Рис. 16.23.** Цифровые карты дистанционного зондирования запаса воды в снежном покрове на 2010 (слева) и 2014 (справа) года.

Так как размер одного пикселя довольно большой, его значение сравнивалось со средним значением запаса воды в снежном покрове для преобладающего типа растительности на исследуемой территории, а именно леса с плотностью крон около 40-60%. Среднее значение снегозапасов за время зимней практики НСО 2010 года по данным полевых исследований составляло около 80 мм, изменяясь на преобладающих залесенных территориях от 45 до 110 мм. Значения снегозапасов дистанционного зондирования для данного момента времени (последние числа января) изменяются от 75 до 85 мм для территории, близлежащей к исследуемому участку, как видно из рис. 16.23.

Для 2014 года ближайшему к станции пикселю соответствует значению 125-130 мм, в то время как натурные данные прошлого года для леса составляли в среднем 100-110 мм.

В течение зимней практики этого года значения снегозапасов изменялись следующим образом: до 30.01 в 50% измерениях значения превышали отметку в 90мм, 31.01 – 120 мм и уже 3.02 – 150мм. При превышении мощности снежного покрова более чем в 1,5 раза отно-

сительно 2014 года, видно, что снеготзапасы превышают прошлогодние незначительно. Это обусловлено превышением значений плотности снега в прошлом году относительно нынешнего примерно в два раза (0,1 и 0,2 /см<sup>3</sup>). Что касается данных дистанционного зондирования, то для 2015 года наблюдается максимальная разница между ними и данными снегомерных съемок: так уже для 29 января значения пикселя находятся в интервале 160-170 мм, 2 февраля – 170-180мм (рис. 16.24). Таким образом, данные дистанционного зондирования склонны к преувеличению реальных значений. Основными причинами таких расхождений скорее всего служат особенности ландшафта по-ва Киндо: рельеф (гора Радикунит, Ругозерская) и прибрежное положение, которые влияют на точность данных.



**Рис. 16.24.** Цифровые карты дистанционного зондирования запаса воды в снежном покрове на 29.01.15 (слева) и 2.02.15 (справа).

## 17 ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕНСИВНОСТИ НАСЫЩЕНИЯ КИСЛОРОДОМ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ЗИМНЕГО ЗАМОРА

Проблема зимнего замора (явление отсутствия кислорода) для относительно неглубоких (глубина до 10 м.) водоёмов стоит очень остро. Кислород ( $O_2$ ), который накапливается в водоёме в предшествующий зиме период, тратится на окислительные процессы, а нового притока не поступает из-за образовавшегося слоя льда и снега. В результате образуются условия, при которых содержание кислорода в воде мало или он вообще отсутствует. При этом не соблюдаются необходимые условия для жизни рыб.

Существует множество методов борьбы с заморами: организация притока воды из проточных ручьев, использование различных аэраторов, нагнетателей воздуха под лед (сверлят несколько лунок, а потом закачивают воздух от переносного компрессора. В случае отсутствия электричества используют дизельные двигатели. Рыбаки могут использовать экзотические методы борьбы с дефицитом кислорода в водоеме, например, на лед вытаскиваются рыболовные катера, делают прорубь и устанавливают над ней катер так, чтобы вал с винтом был на половину погружен в воду и включают его на несколько часов. Движение воды по поверхности приводит к быстрому образованию полыньи, растворению льда, увеличению контактной площади воды и воздуха, что приводит к насыщению воды кислородом. В неглубоких водоемах применение ряда методов аэрации может привести к ускорению их промерзания. Так как в результате перемешивания теплых вод у дна с поверхностными водами происходит нарушение температурного режима водоема.

Из древних способов повышения насыщения воды кислородом есть такой способ: перед ледоставом заготавливается камыш в снопы, далее к ним привязываются за края грузы таким образом, чтобы эти снопы верхней частью стояли как поплавки. Либо по тонкому льду в прорубь вмораживают такие снопы, тогда через камыш водоем будет "дышать".

Несмотря на обилие методов, проблема заморов для водоемов России не решена. Это связано с рядом факторов. Часто не понятно кто с этой проблемой должен бороться – МЧС, частные владельцы, сами рыбаки т.д. И даже если это проблема решена, то не всегда борьба с заморами проводится эффективно и правильно. Так, основным способом борьбы с заморным явлением в России является бурение лунок. Еще в 1914 г. К.П. Александров (член Императорского Российского общества рыбоводства и рыболовства) при описании значения кислорода в жизни рыб писал: "При большей или меньшей убыли кислорода, рыбы в поисках за воздухом, всплывают на поверхность воды к местам прорубей". Но это способ весьма неоднозначен. Чтобы он был эффективен, нужно над выпиленной майной (прорубью) установить палатку с наблюдателем и следить за тем, чтобы она не замерзала и для лучшего поступления кислорода в воду использовать различные аэраторы. Но чаще используют не такой затратный метод. И на водоеме, на котором наблюдается замор, просто пробуривают некоторое количество лунок, майн, по которым должен поступать кислород в воду из воздуха. Проблема такого способа заключается в том, что в зависимости от температуры воздуха и силы ветра, такие майны очень быстро покрываются льдом или заносятся снегом и поступление кислорода в воду прекращается.

Во время зимней студенческой практики на ББС были выбраны несколько озер, на которых по предварительным наблюдениям не было обнаружено растворенного кислорода в воде или было обнаружено небольшое его количество. Основной целью эксперимента являлось определение интенсивности насыщения кислородом воды в условиях зимнего замора. При этом были организованы идеальные условия для диффузии кислорода, так как одной из

поставленных целей было опровержение теории целесообразного использования лунок при обогащении водоемов кислородом (рис. 17.1).



Рис. 17.1. Работа на озере Кмсло-Сладкое

Ход эксперимента:

- 1) делались майны размерами 50x50 см.;
- 2) пробы воды отбирались и фиксировались с интервалом времени 1 час на двух горизонтах: 0.5 и 1.0 м. в течение 6-и часов (рис. 17.1);
- 3) в течение всего времени проведения опыта лунка каждые 5 минут очищалась от снега и образовавшейся пленки льда;
- 4) в лабораторных условиях методом Винклера определялась концентрация растворенного кислорода.



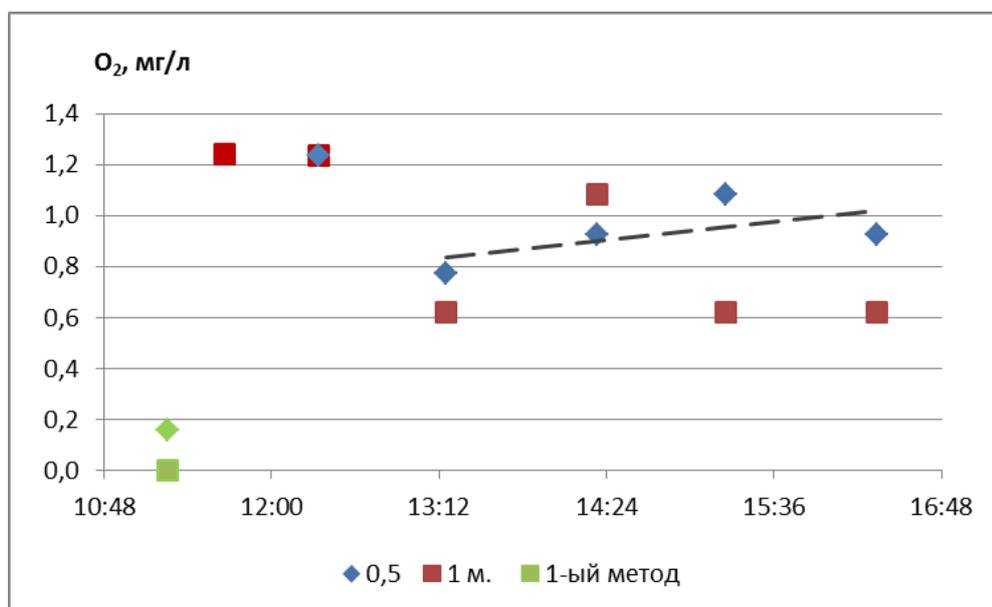


**Рис. 17.2.** Отбор проб на озере Верхнее Ершовское

Первый эксперимент проводился 1 февраля с 11:15 до 16:20 на озере Верхнее Ершовское (рис. 2). После выпиливания майны, подледная вода поднимается до поверхности льда, толщина которого составляла более 40 см. Первые пробы воды отбирались прямо из насоса с глубин 0,5 и 1 м. Далее, из-за сильного напора воды из шланга, было решено отбирать пробы сначала в емкость и потом сразу разливать ее по кислородным склянкам и фиксировать реактивами для дальнейшей обработки проб в лаборатории. Всего было отобрано 13 проб. На рис. 17.3 показана динамика изменения растворенного кислорода в мг/л в течение периода измерений. Зеленым цветом показаны измерения, выполненные первым способом отбора проб (из шланга), зеленым и синим – вторым способом. Следующее за первым измерение выполнено приблизительно в тоже время и показывает ошибку одного способа относительно другого. Как оказалось, первый способ описывал содержание в воде растворенного кислорода точнее, но относительное изменение его концентрации можно оценить и из следующих измерений, выполненных вторым способом.

Скачкообразное изменение значений растворенного кислорода на глубине 1 м может быть вызвано тем, что вода с горизонта 1 м не успевала сменить воду в насосе с глубины 0,5 м или случайным перемешиванием воды при погружении насоса на следующую глубину. Поэтому мы можем судить только об изменениях в концентрации кислорода, происходящих на глубине 0,5 метров. Как видно из рисунка для последних четырех значений характерна некоторая тенденция к увеличению концентрации. Но и такая величина содержания кислорода в воде является очень низкой. И не стоит забывать, что в реальных условиях, майна успела бы занестись снегом и замерзнуть гораздо быстрее, чем произошло бы даже такое незначительное увеличение содержания кислорода. Все ошибки первого дня эксперимента были учтены и исправлены при повторении эксперимента на Кисло-Сладком озере.

Измерения на котором проводились с 12:55 с 17:45 второго февраля на следующий день. С каждого горизонта в каждое измерение отбиралось по 2 пробы для контроля и учета ошибок измерения и отбора проб. Результаты анализа показали, что за всё время наблюдений концентрация растворённого кислорода в воде на глубине 1 м не изменялась и составила 0 мг/л. Для горизонта 0,5 м только последнее измерение в 17:45, дало увеличение концентрации с 0 до 0,85 мг/л. Это может быть вызвано действительно поступлением кислорода из атмосферы в поверхностный слой воды, так и некоторой ошибкой при отборе проб.



**Рис. 17.3.** Динамика изменения растворенного кислорода в оз. Верхнее Ершовское на глубине 0,5 и 1 м.

Проведенный опыт показывает, что технология борьбы с заморами в водоемах путем бурения лунок является неэффективной. Так как за небольшой период времени пока майна или лунка остается открытой и не покрывается слоем льда и снега, блокирующими поступление кислорода из воздуха в воду, даже подледный слой воды не успевает значительно обогатиться растворенным кислородом.

В рамках зимней гидрологической экспедиции на ББС одной из основных геодезических задач было определение высотных отметок исследуемых озер. Так как часть работ по установлению и вычислению плановых и высотных координат реперов была произведена в предыдущей экспедиции, то в этой необходимо было измерить уровни воды в исследуемых озерах и сопоставить результаты с данными прошлого года. В ходе измерений было задействовано следующее геодезическое оборудование: цифровой нивелир, штатив и две рейки. Работы по тригонометрическому нивелированию проводились при помощи высокоточного электронного нивелира Leica Sprinter 100M. Измерения выполнялись цифровым способом, что свело погрешность, связанную с человеческим фактором, к минимуму. Отметки уровня в озерах определяли методом геометрического нивелирования от точки с известными координатами, расположенной на берегу исследуемого озера до точки на поверхности озера (гидрологическая лунка).

На исследуемых озерах проводилась следующая последовательность действий:

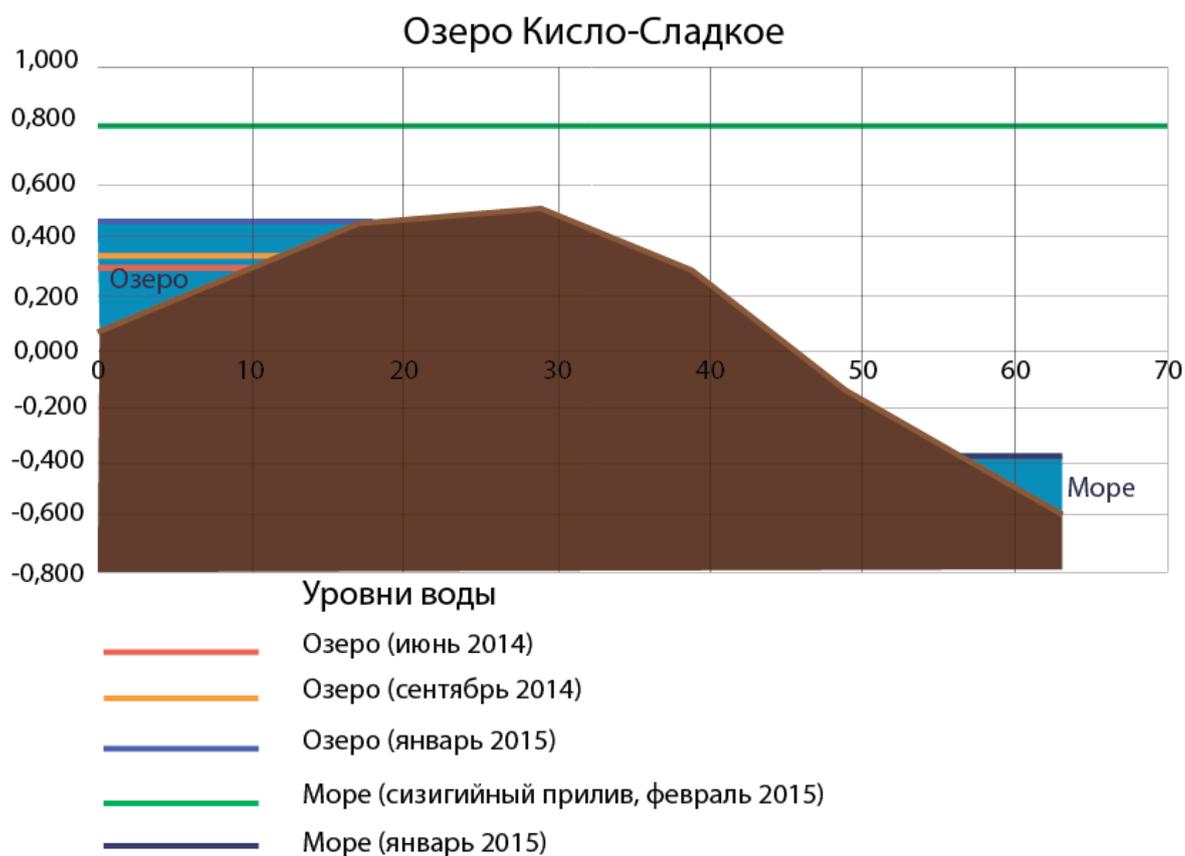
1) По прибытии на изучаемое озеро сперва необходимо было обнаружить на берегу озера репер, установленный в прошлом году на твердой поверхности (камне или пне) на относительно открытой местности. Для упрощения обнаружения геодезический пункт был отмечен красной краской.

2) Затем проводилось нивелирование. Нивелир устанавливался примерно посередине между репером и выбранной лункой, для которой и определяются высотные отметки. Установка нивелира представляет собой последовательность действий: установка штатива; установка нивелира на штативе и зажатие его закрепительным винтом; горизонтирование прибора подъемными винтами; наведение прибора на рейку с помощью прицела, расположенного на ручке нивелира. Для более точного наведения использовались микрометрические винты. Отсчеты снимались автоматизировано, с рейки, расположенной на репере и с рейки, расположенной у лунки. Результаты фиксировались в полевой дневник.

3) Камеральная обработка данных.

**Обработка данных и полученные результаты.** Обработка результатов нивелирования выполнялась следующим образом: из отсчетов передней рейки вычитали отсчеты задней, результат разности и был превышением репера над лункой, выраженный в метрах. Чтобы определить отметку уровня льда, полученное значение превышения репера над лункой нужно вычесть из высоты репера. В ходе гидрологических работ было получено значение толщины льда для каждого из озер. Результаты измерения уровней озер за 2014-2015 гг. сведены в табл. 18.1 (высоты приведены в Балтийской системе).

По результатам нивелирования был также построен продольный профиль от уреза оз. Кисло-Сладкое до уровня моря (рис. 18.1), который может быть полезен для анализа влияния приливов.



**Рис. 18.1.** Нивелирный ход на озере Кисло-Сладком.

**Табл. 18.1.** Отметки уровня озер.

Имя точки (камни)	Н(абс) Репер	Отметка (м), январь 2014	Отметка (м), июнь 2014	Отметка (м), январь 2015
Кисло-Сладкое	0,9888	0,4228	0,302	0,466
Зеленый мыс	0,9121	-0,0529	-0,013	-0,0639
Нижнее Ершовское	2,1793	1,2323	0,8323	1,2203
Верхнее Ершовское	3,9175	2,6505	2,698	2,6625
Верхнее	88,1986	87,2036	87,145	87,1866
Водопроводное	74,0717	72,9812	72,927	72,9767
Трехцветное	2,1701	0,912	1,2581	1,25

**Структура и содержание ГИС-проекта.** В основу геоинформационного обеспечения легла разработка ГИС-проекта по результатам проведенных работ. Программное обеспечение: ArcGIS 10.2, ArcScene 10.2.

Исходные материалы: космический снимок Formosat с пространственным разрешением 2 м на территорию полуострова Киндо, космический снимок на территорию озера Трёхцвет-

ное, оцифрованные карты масштаба 1:25000 и 1:50000, данные батиметрической съёмки озёр, данные нивелирных работ и ГНСС-съёмки, треки маршрутов и координаты точек проведения работ, полученные с помощью навигатора Garmin.

В качестве основы использовался снимок Formosat и оцифрованные горизонталы с топографических карт масштаба 1:25000 и 1:50000. Пространственная привязка осуществлялась в системе координат WGS-84, проекция UTM (зона 36). Растровые данные экспортировались в формате \*.tif.

В следующем слое расположены точки работ. Данные экспортировались в формате \*.shp. Точки разделены на следующие группы: твердые точки, полученные по данным ГНСС-съёмки (Реперы); точки гидрологических и нивелирных работ (Виды работ); точки метеорологических наблюдений (Метеорология); точки океанологических работ (Океанология) и снегомерная съёмка. Каждой группе соответствует отдельный файл. В атрибутивной таблице для каждой точки определены её название, тип, дата и время проведения работ, что позволяет облегчить поиск нужных точек, а также классифицировать точки каждой группы по виду работ и наблюдений.

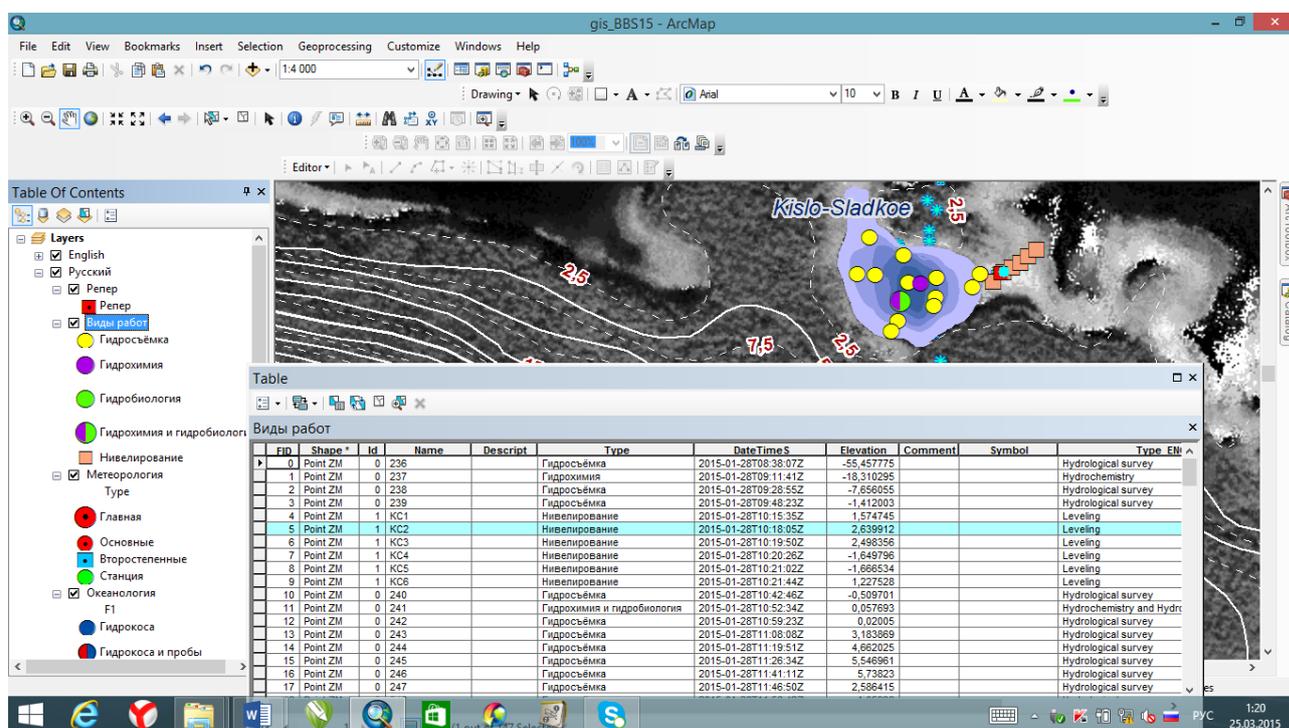


Рис. 18.2. ГИС-проект по результатам экспедиции ББС-2015.

Следующим этапом создания проекта стал выбор условных знаков. Для значков были выбраны простые формы — кружки и квадраты. Для различия типов съёмки использовалось цветовое кодирование. Выбранные условные знаки и классификация точек легли в основу легенды к картам озёр.

Весь проект был продублирован на английском языке в отдельном слое. Для этого в каждой атрибутивной таблице было создано новое поле под названием Type\_Eng, куда были внесены дополнительные данные.

В ходе работ были созданы обзорные карты на территорию полуострова Киндо, карты озёр с точками гидрологических работ, карта метеорологических наблюдений на оз. Верхнее.

**Создание 3D анимаций полевых маршрутов.** Целью данной работы является наиболее наглядная и максимально приближенная к реальности визуализация полевых маршрутов, совершенных в ходе экспедиции.

По данным оцифрованным с топографической карты масштаба 1:25 000 была создана цифровая модель рельефа (ЦМР) на территорию полуострова Киндо. На него был наложен космический снимок Formosat с пространственным разрешением 2 м. В качестве подложки под ЦМР был использован снимок Google. Снимки окрашены в черно-белые цвета, чтобы соблюсти максимальное сходство с зимними условиями. Затем на ЦМР "были натянуты" озера и контура растительности, причем при отображении разных видов растительности (сосен, елей, берез, ив) сами точки деревьев были расставлены случайным образом, но в пределах необходимого ареала. При нанесении растительности на ЦМР задавались такие параметры, как общее количество деревьев данной породы, а также минимальное расстояние между соседними стволами.

В ходе полевых маршрутов на GPS были записаны их треки. Начало треков лежит у входа в камеральный корпус станции, а конец находится на исследуемых озерах или также на станции, когда обратный путь проходил по отличной от первой дороги.

В начале создания анимации происходила обработка GPS данных. Треки скидывались в формате \*.gpx и переводились в формат \*.shp. Затем маршруты загружались в ArcMap10.1, где производилась первичная генерализация маршрута, которая представляла собой устранение мелких поворотов и острых углов трека, образуемых при объезде или обходе небольших препятствий (дерево, камень) на местности. При загрузке треков в ArcScene 10.1, они находились под ЦМР и были не видны, поэтому пришлось перевести их в 3D модель, то есть каждой точке трека дополнительно к плановым координатам задать и высоту. Далее работа проходила параллельно в двух программах: ArcMap10.1(обработка треков в 2D формате) и ArcScene10.1(работа с 3D моделью и непосредственное создание анимации).

В отдельном слое был создан объект (point), который должен передвигаться по треку и визуализировать тем самым членов экспедиции. В двух случаях этим объектом была машинка (до Кисло-Сладкого озера и Нижнего и Верхнего Ершовских), так как мы добирались до исследуемых озера на снегоходах, а в третьем (до озера Верхнего и Водопроводного) - шарик, так как в данный маршрут мы отправились пешком. Трекам была задана автоматическая генерализация маршрута, которая вычислялась в % от начального, для того чтобы убрать мелкие повороты, которые вызывали резкие колебания машинки в горизонтальной плоскости. Параллельно с треком полевого маршрута был пущен трек камеры, для того, чтобы со стороны наблюдать за передвижением объекта. У камеры задавались такие параметры, как высота полета, азимут просмотра, вертикальный угол, а также степень генерализации пути камеры.

В заключительной части мы выделили главный маршрут широкой белой линией, задали размеры и цвет передвигающимся объектам. Также был указан наиболее оптимальный временной интервал продолжительности анимации для каждого маршрута отдельно, который зависел, главным образом, от его длины.

Как итог работы мы имеем три 3D анимации маршрутов на озера а) Кисло-Сладкое; б) Верхнее и Водопроводное; в) Верхнее и Нижнее Ершовские (рис. 18.3-18.7).

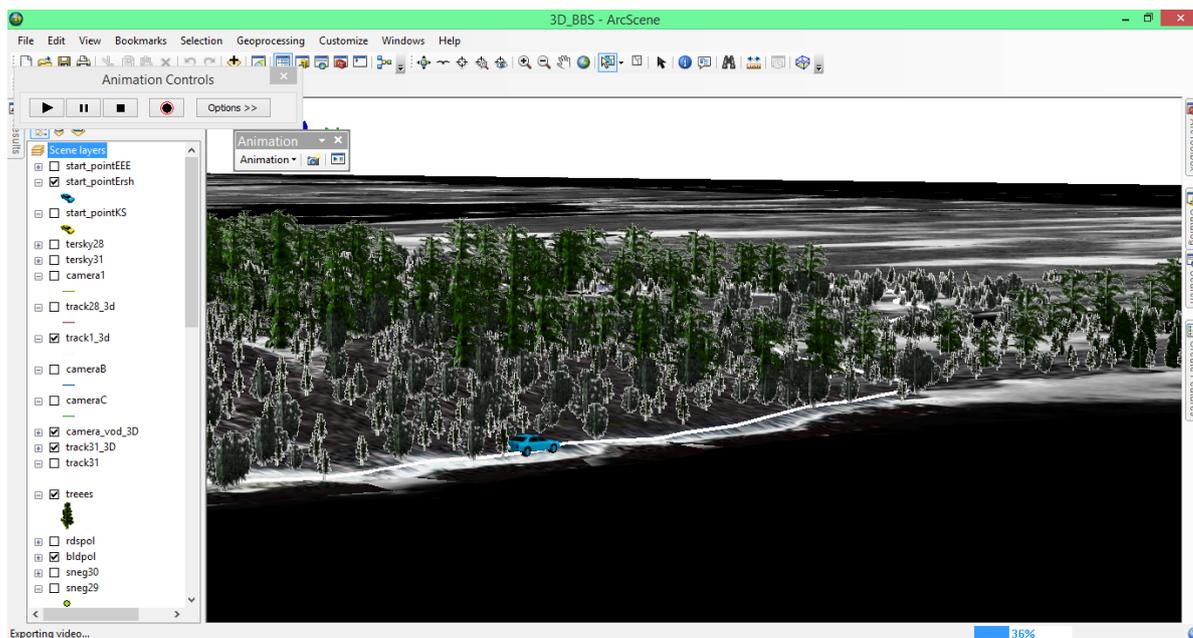


Рис. 18.3. Создание 3D анимации полевых маршрутов. Маршрут на Ершовские озера.

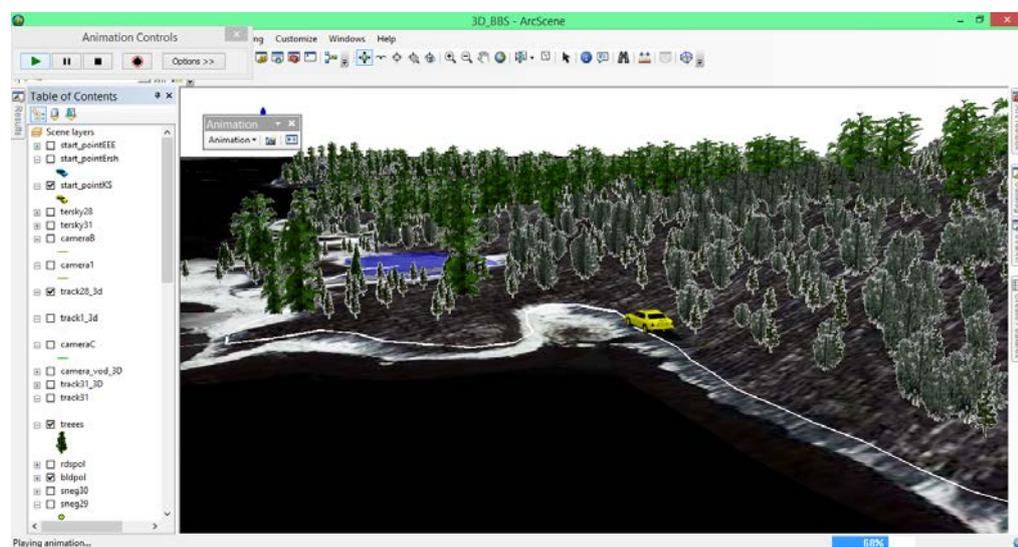
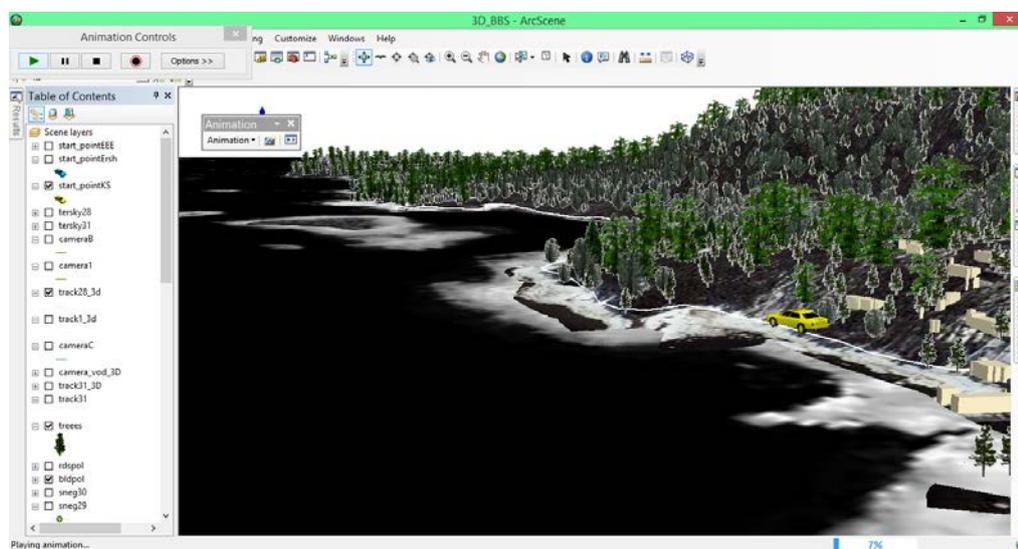


Рис. 18.4. Маршрут на Кисло-Сладкое

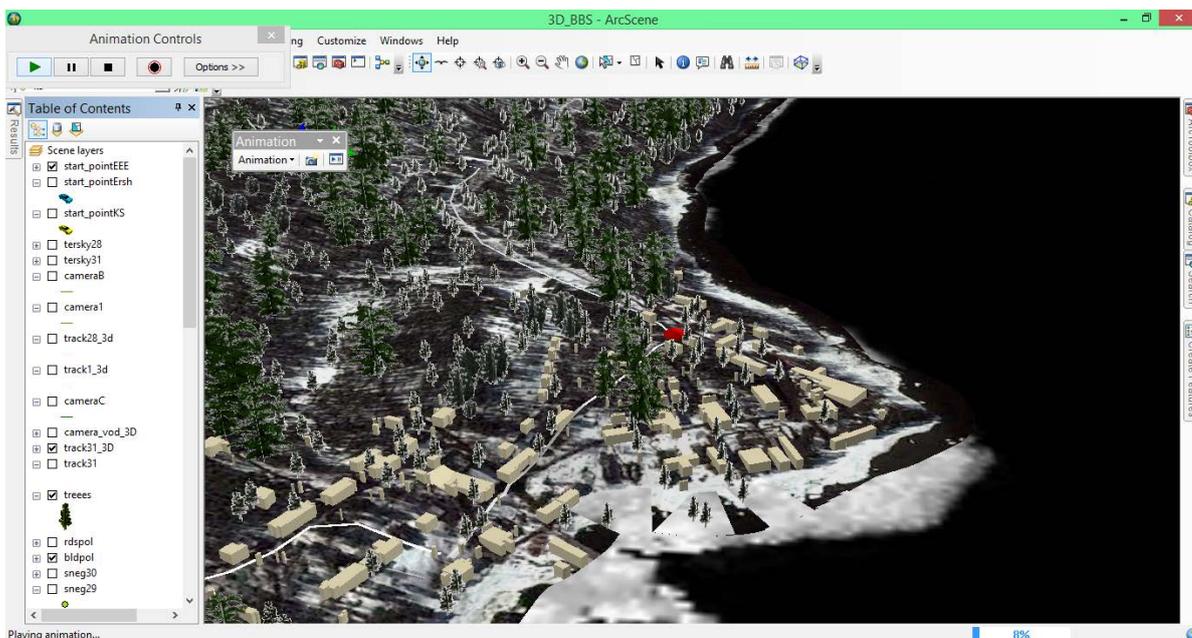


Рис. 18.5. Маршрут на Верхнее и Водопроводное

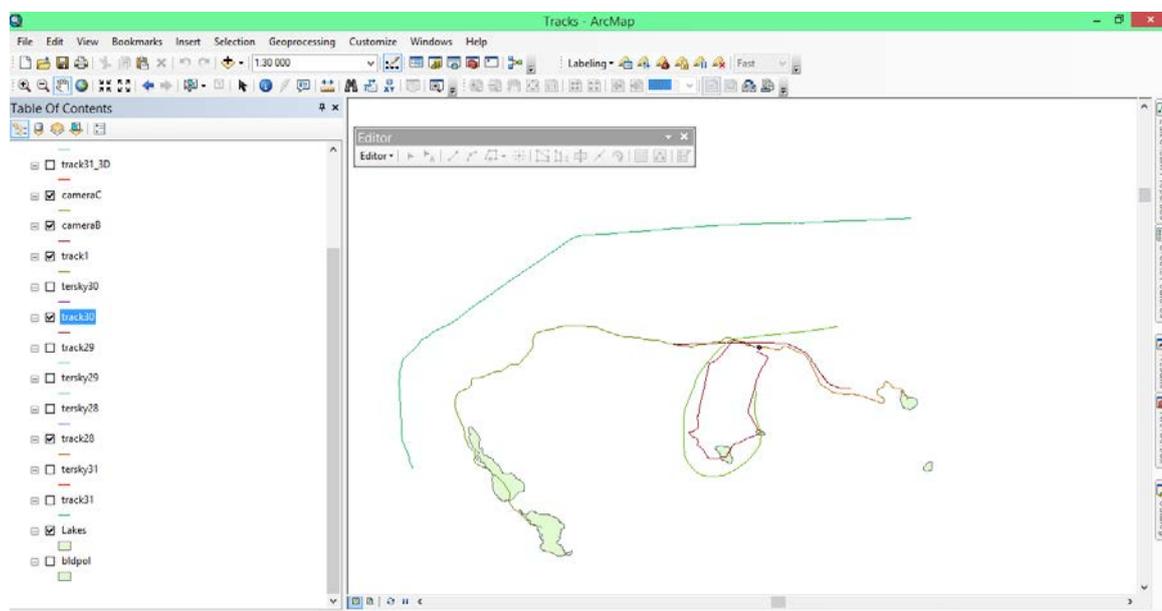


Рис. 18.6. Работа с треками в ArcMap 10.1

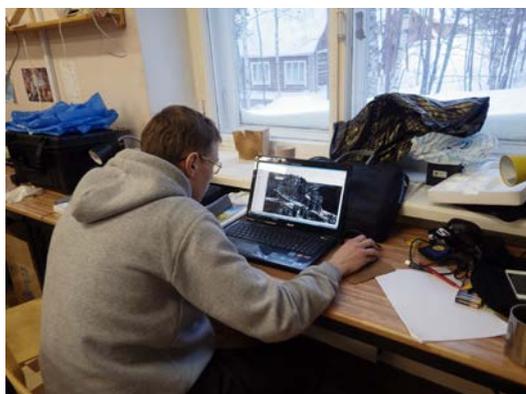


Рис. 18.7. Работа над ГИС-проектом

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теряющие связь с Белым морем озера (их еще называют отшнуровывающиеся) находятся на самой границе с сушей. Их специфические геоморфологические черты — воронкообразная форма дна с впадиной и окружающие ее обширные мелководья. Влияние суши проявляется в разном опреснении озер, быстро меняющемся во времени. В итоге в водоемах формируется уникальная гидролого-гидрохимическая обстановка, отличающаяся от характеристик Кандалакшского залива. На озерах западного побережья Белого моря экспедицией НСО 2015 г. в очень сложных погодных условиях проведено подробное исследование зимнего режима подобных меромиктических озер, с помощью высокоточных геодезических измерений определены их высотные отметки.

Описанные водоемы находятся на разных стадиях развития изоляции водоемов морского происхождения – от лагуны с приливно-отливными колебаниями (лагуна на Зеленом мысу) до стабильных меромиктических водоемов (оз. Трехцветное, оз. Еловое, оз. Нижнее Ершовское) и пресных (Водопроводное, Верхнее, Верхнее Ершовское). Главная черта, объединяющая описанные водоемы – устойчивая вертикальная стратификация, в предельном варианте стремящаяся к меромиксии. По степени изоляции от моря, которая проявляется в ослаблении влияния моря и устойчивости стратификации к внешним возмущениям, исследованные водные объекты можно расположить в следующий ряд: Оз. Трехцветное, оз. Нижнее Ершовское, оз. Кисло-Сладкое, Лагуна на Зеленом мысу.

В зависимости от площади водосборного бассейна и наличия в нем источников пресной воды водоем может развиваться в сторону опреснения (большинство водоемов) и в сторону осолонения (лагуна на Зеленом мысу). Приток соленой воды стимулирует процесс бактериальной сульфатредукции, в результате которого в толще воды появляется сероводород и, как следствие, перерабатывающие его фототрофные микроорганизмы, в том числе – зеленые серобактерии.

Типовая гидрологическая структура отделяющегося от моря водоема в терминах, применимых к меромиктическим водоемам, состоит из миксолимниона – верхнего, как правило, опресненного слоя, и соленого монимолимниона, подразделяемого на два слоя: верхний фотический аэробный и заполняющий донные углубления афотический анаэробный. Между этими основными слоями расположены узкие зоны с резкими градиентами физико-химических параметров: пикноклин на границе опресненного и среднего соленого слоев и редокс-зона между аэробной и анаэробной зонами.

2. Проведен анализ синоптических условий в период полевых экспедиционных исследований в январе 2015 г. Установленная в период проведения экспедиции автоматическая метеостанция позволила получить ряд метеорологических характеристик, необходимых для обработки гидрологических данных.

По данным вихреразрешающего моделирования турбулентные потоки импульса и скалярных величин над небольшими озерами, окруженными лесом, существенно неоднородны как по горизонтали, так и по вертикали, что ставит под сомнение репрезентативность измерений потоков в одной точке, производство которых является распространенной практикой.

Уровни энергии на всех спектрах близки, а их наклон соответствует закону Колмогорова для частот, превышающих  $\sim 10^{-1}$  с<sup>-1</sup>, что соответствует периодам менее  $\sim 1$  мин. При этом, уровни энергии для двухкомпонентных датчиков Gill, частота измерений которых 1 Гц, совпадают с энергией для трехкомпонентных датчиков (частота измерений 20 Гц) в соответ-

ствующих интервалах частот. Таким образом, спектры мощности не обнаруживают значительных различий в энергии турбулентности в приземном слое воздуха над озером.

Измерения концентрации метана в воздухе на побережье пролива Большая Салма показали, что среднее значение за период экспедиции составляет 2020 млрд<sup>\*\*</sup>(-1). Это выше, чем среднеглобальное значение (1803 млрд<sup>\*\*</sup>(-1)), уровни измерений в Северной Финляндии (1920 млрд<sup>\*\*</sup>(-1)), а также на мысе Барроу (около 1900 млрд<sup>\*\*</sup>(-1)). Вероятно, это указывает на высокие потоки метана из полыньи пролива, что подтверждается, по свидетельству биологов, наличием в проливе метаногенных архей.

**3.** Океанологические исследования были посвящены определению влияния приливных процессов на термохалинную структуру вод Белого моря, описанию термической структуры оз. Верхнее, а также определению содержания углеводородов, хлорофилла, микроэлементов в подледной воде, горизонтах льда, снеге. Приливные колебания в акватории ББС носят правильный полусуточный характер. В течение суток наблюдаются две малые и две полные воды. Амплитуда полусуточных волн примерно на порядок больше амплитуды суточных. В районе пирса ББС МГУ с 13:00 30 января до 19:00 31 января измерения распределения по глубине солености и температуры показали достаточно однородную термохалинную структуру морских вод. Температура изменялась от -1,11°C до -1,28°C, соленость – от 26,8 до 25,2 епс (единицы практической солености).

**4.** В зимний период 2015 года в озерах окрестности ББС наблюдается высокая температура в придонных слоях - выше 4°C. В пресных озерах она достигает 5,2°C (оз Верхнее). В наиболее стратифицированных солоноватых озерах температура придонных слоев достигает 6,1°C и 7,1°C в Нижнем Ершовском и Трехцветном соответственно.

Пресные озера - Верхнее, Водопроводное и Верхнее Ершовское, обладают устойчивой плотностной стратификацией, несмотря на повышенную температуру воды в придонных слоях. Это связано с повышенной минерализацией, вероятно связанной с притоком подземных вод через дно.

В зимний период 2015 года для большей части озер существенных различий в гидрологическом состоянии не выявлено по сравнению с аналогичным периодом 2014 года. Однако, горизонтальная однородность в оз. Кисло-Сладкое в 2015 году не соответствует условиям 2014 года, когда соленость снижалась в близком к горизонтальному направлении от перемычки к материковой части продольного профиля озера. Существенные различия отмечены в Нижнем Ершовском озере. Мощность солоноватого слоя уменьшилась от значения около 2 м в 2014 году до менее, чем 0,5 м в 2015 году. Наименьшие различия характерны для пресных озер.

**5.** В районе ББС приливы близки к правильным полусуточным. В течение года их величина колеблется от 1,0-1,2 м в квадратуры до 1,7-2,1 м в сизигии. В период работы экспедиции НСО-2015 величина приливов (по предвычислениям) должна была изменяться от 1,3-1,4 м до 1,7-1,8 м. Данные наблюдений показали, что реальные колебания уровня совпадали по фазам с предвычисленными, но измеренные величины приливов были меньше предвычисленных на 0,1-0,2 м. В целом, качество предвычислений приливов в районе пирса ББС можно оценить как удовлетворительное. При введении поправки на зимнее время (минус 1 ч от расчетных величин), предвычисления могут быть использованы для планирования и предварительной оценки результатов гидрологических исследований в непосредственной близости от пирса ББС. При этом точная оценка полученных результатов возможна только при использовании данных непосредственных наблюдений за уровнем моря.

В районе озера Зеленого мыса приливные колебания уровня моря составляли 0,10-0,15 м, что было на порядок меньше, чем около пирса ББС. При этом в обоих пунктах приливы почти совпадали по фазам. Скорее всего, столь значительная трансформация приливов была связана с соответствующим влиянием рельефа и льда. Логгер был установлен в вершине небольшого залива в непосредственной близости от озера Зеленого мыса. В эту акваторию приливы проникают со стороны Кандалакшского залива. По-видимому, их свободному распространению в пределах обсуждаемой акватории препятствуют небольшая ширина пролива на входе в нее и мелководья в ее вершине. Зимой действие этих факторов, скорее всего, усиливается из-за льда (он может существенно уменьшать живое сечение залива над мелководьями и в районе входного пролива).

**6.** Анализ результатов зимних гидрохимических исследований 2015 г. подтвердил обнаруженные ранее характерные особенности химического состава воды трех групп озер.

К первой группе относятся пресные водоемы Верхнее, Водопроводное и Верхнее Ершовское со слабокислыми и нейтральными водами. Водосборы озер расположены значительно выше уровня моря, что исключает непосредственное поступление в них морских вод. Однако вследствие близости к морю, на акватории озер выпадают атмосферные осадки морского происхождения. Разгрузка в озера пресных вод гидрокарбонатно-кальциевого состава приводит к возрастанию минерализации по вертикали в два раза (градиент достигает 10 мг/л/1 м). Пресноводные водоемы в целом характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым составом с большой долей хлоридов и натрия. При этом изменения в химическом составе воды разных слоев водоемов свидетельствует о соотношении генетических категорий вод питающих озера. Заметное увеличение содержания минерального фосфора, кремния, железа и температуры (выше 4°C) в придонных слоях пресных озер обусловлено разгрузкой подземных вод. На значительный рост концентрации минерального фосфора может влиять его поступление из донных отложений.

Озеро Кисло-Сладкое и озеро-лагуна Зеленый Мыс не утратили связи с морем. Солевой состав их вод зимой 2015 г. так же, как и в 2014 г., почти не отличался от солевого состава беломорских вод, воды озер были хорошо перемешаны. Для этой (первой) стадии изоляции водоемов сохраняется приливной водообмен водоемов с морем, но уже проявляются признаки обособленности: появляется анаэробная зона и отмечается присутствие сероводорода в придонном слое. Слабощелочная среда водной толщи озер тоже характерна для морской воды. Придонная вода более соленая, чем основная толща воды, более теплая и более кислая, что связано как с содержанием сероводорода, так и с процессами деструкции.

Озеро Трехцветное находится на следующей стадии отделения от моря и на протяжении всего периода исследований демонстрирует характерные черты меромиктических озер: устойчивую слоистую структуру водоема (пресный поверхностный слой воды, слой скачка плотности и соленая придонная водная масса); анаэробные условия и наличие сероводорода у дна. Стабильно расположено в озере хемоклина на глубине 1-2,5 м. Соленая водная масса лежит ниже хемоклина, содержит сероводород и характеризуется анаэробными условиями среды. Зимой 2014 г. в озере до глубины 2 м существовала кислородная зона, зимой 2015 г. кислород отсутствовал во всей водной толще. Наличие хемоклина и существование слоев, резко отличающимися по гидрофизическим и гидрохимическим параметрам, создают условия для развития бактериальных сообществ. Для меромиктических водоемов это сульфатредуцирующие бактерии, способные использовать сероводород для фотосинтеза. В гипolimнионе интенсивно идет процесс сульфатредукции, осуществляемый хемоавтотрофными

и анаэробными фототрофными бактериями. Такие бактерии окисляют поступающие из гипolimниона восстановленные соединения серы и метана. Массовое развитие бактерий и водорослей на границе окисленного и восстановленного слоев обуславливает наличие в таких водоемах цветных слоев воды. Так, в Трехцветном озере на глубине 2,0 м ниже хемоклина находится слой воды зеленого цвета, что, обусловлено развитием зеленых серобактерий.

Озера с глубинами менее 5 м может так и не стать меромиктическим озером и превратиться в пресное озеро с сохранившейся осолоненной придонной водой в ямах. К таким озерам относится озеро Нижнее Ершовское. В этом озере слой зеленоватой воды обнаружен на глубине 2,5 м в 2014 г.; его наличие было подтверждено и зимой 2015 г. Это донная солоноватая водная масса, обладающая положительной температурой и слабокислыми условиями среды, вызванными наличием сероводорода. Из-за разности в плотностях верхнего и нижнего слоев воды вертикальная конвекция не происходит, и донная водная масса сохраняет положительные температуры  $>4^{\circ}\text{C}$  даже зимой. Однако, минерализация воды придонного слоя в 2015 г. была в 3 раза меньше, чем в 2014. Не исключено, что озеро Н.Ершовское будет пресным, как и расположенное выше оз. В.Ершовское, если в период штормов и нагонов в него не будут поступать морские воды.

Общая черта всех исследованных озёр в зимний период - низкое содержание в их верхних слоях растворённого кислорода и его полное отсутствие в гипolimнионе. Зимой 2015 г. зона аноксии была больше, чем в 2014 г.

Особенность химического состава воды исследованных озёр (особенно пресных) в зимний период - довольно высокое содержание общего фосфора при почти полном отсутствии его минеральной формы во всей водной толще.

Минерализация озерного льда обследованных озёр различалась в соответствии с изменениями в минерализации воды озёр. Формирование льда на поверхности водоема происходит одновременно за счет озерной воды и выпадающих осадков, поэтому разные слои льда различаются как по минерализации, так и по соотношению концентраций ионов. Для химического состава льда большинства озёр характерно преобладание ионов натрия и хлора. Для озёр с высокой минерализацией это закономерно, но даже для льда пресных озёр не наблюдается обычного для их вод преобладания гидрокарбонатов и ионов кальция, что связано с поступлением морских аэрозолей. В ходе зимних гидрохимических исследований 2015 г. были получены результаты, которые подтвердили выделение 3 групп озёр, сделанное на основе данных 2014 г., и позволили сделать следующие выводы:

- Общей чертой всех исследованных озёр в зимний период является низкое содержание в воде растворённого кислорода и его полное отсутствие в гипolimнионе. Зимой 2015 г. зона аноксии была больше, чем в 2014 г.

- Особенность химического состава воды пресноводных озёр в зимний период - довольно высокое содержание общего фосфора при почти полном отсутствии его минеральной формы во всей водной толще.

- Увеличение содержания минерального фосфора, кремния и температуры (выше  $4^{\circ}\text{C}$ ) в придонных слоях всех озёр обусловлено поступлением грунтовых вод. На резкий рост концентрации минерального фосфора может влиять его поступление из донных отложений. Теплоемкость донных отложений больше, чем теплоемкость воды, а теплообмен меньше, поэтому зимой илы вероятно могут влиять на температуру тонкого слоя на границе вододонные отложения.

- Химический состав воды разных слоев воды озер свидетельствует о соотношении генетических категорий вод, питающих озера.

- Пресноводные водоемы характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым составом с большой долей хлоридов и натрия.

- Минерализация озерного льда обследованных озер различалась в соответствии с изменениями в минерализации воды озер. Формирование льда на поверхности водоема происходит одновременно за счет озерной воды и выпадающих осадков, поэтому разные слои льда различаются как по минерализации, так и по соотношению концентраций ионов. Для химического состава льда большинства озер характерно преобладание ионов натрия и хлора. Для озер с высокой минерализацией это закономерно, но даже для льда пресных озер не наблюдается обычного для их вод преобладания гидрокарбонатов и ионов кальция, что, связано с поступлением морских аэрозолей. Повышенное содержание магния среди катионов – особенность солевого состава снега и льда пресных озер.

7. Отобраны пробы снега, льда и подледной воды, проведена их фильтрация для последующего анализа на содержание углеводов (УВ) и органического углерода в ИО РАН им. П.П. Ширшова. Анализ результатов показал, что с 2010 по 2015 гг. содержание УВ возле пирса ББС выросло почти в 20 раз (4,3 мкг/л – 83,7 мкг/л) и в 2015 г. превысило ПДК в 1,5 раза, что уже говорит об углеводородном загрязнении. Для станции возле озера Кисло-Сладкого в морской акватории в 2015 г. такого значительного роста не наблюдается, однако в нижнем горизонте льда и в подледной воде также наблюдается тенденция увеличения концентраций УВ. Впервые были получены данные о содержании взвешенного вещества и органических соединений в ледяном покрове и подледной воде одного из меромиктических озер – озера Трехцветного. Концентрация УВ в подледной воде на всех трех станциях отличается слабо, поэтому в озере она практически такая же, как в морских точках.

8. В зимний период гидрологическая и гидрохимическая структура озера сильно отличаются от летних, что сказывается на составе и распределении планктонных организмов и не может не влиять на бентосное сообщество. В настоящей работе описывается первая зимняя съемка макрозообентоса в Кисло-Сладком озере и приводится сравнение с летней ситуацией в водоеме.

Если летом биомасса бентоса в озере Кисло-сладком варьировала от 0,6 до 200 г/м<sup>2</sup>, что сопоставимо с летней биомассой в море — 9-279 г/м<sup>2</sup>, то зимой средняя биомасса в озере снизилась вчетверо: 12 г/м<sup>2</sup> против 45 г/м<sup>2</sup> летом при разбросе от 0,9 до 54 г/м<sup>2</sup>. По результатам зимней съемки на глубинах более двух метров живых животных обнаружено не было. Летом большая часть бентоса сосредоточена на глубине до 1,5 м, на глубине 2 м отмечалось резкое снижение численности и биомассы, однако в небольшом количестве бентосные организмы встречались до наибольшей глубины. Зимой 2015 г. в озере Кисло-Сладком наблюдался замор: в связи с ледовой изоляцией озера от моря граница распространения сероводорода поднялась почти до поверхности, не оставив кислородного слоя для его обитателей.

Наблюдаемое снижение численности и биомассы бентоса по всему водоему, по всей видимости, результат замора. Наименее подверглась изменению зона илистого мелководья. Здесь встречены разнообразные личинки насекомых, в том числе единично личинка жука *Haliphus apicalis*. Возможно, с зимними заморными явлениями связаны наблюдавшееся в предыдущие годы резкие колебания численности гидробий и периодическое появление залежей их пустых раковин. Наибольший вклад в общую численность и биомассу зимой вносил *Chironomus salinarius* - от 22 до 100% биомассы. Летом этот вид был вторым по вкладу в

биомассу и доминировал лишь в центральной яме на 4 м. Таким образом, как летом, так и зимой основу бентоса в озере составляют два вида: *Ch. salinarius* и *H. ulvae*, численность которых и соотношение изменяются во времени. Вероятно, сообщество донных организмов претерпевает циклические изменения, связанные с колебаниями гидрологического режима водоема.

**9.** Проведен анализ проб озерной воды методами оптической спектроскопии - флуоресцентной и абсорбционной спектроскопии, а также спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света. По спектрам поглощения и флуоресценции изучалось вертикальное распределение фототрофных микроорганизмов (по полосам хлорофилла и бактериохлорофилла), растворенного органического вещества и белковых комплексов, проведено сравнение распределений концентраций пигментов в летний и зимний периоды. Было оценено относительное содержание разных типов зеленых серных бактерий в слое с максимальной интенсивностью окраски: в озере Трехцветном на глубине 2 м присутствовали только зеленоокрашенные ЗСБ –  $(98,0 \pm 2,0)$  %, в озерах Н. Ершовском на глубине 2,7 м и Кисло-Сладком на глубине 3,4 м было обнаружено большее количество зеленоокрашенных ЗСБ –  $(70,1 \pm 2,5)$  % и  $(60,1 \pm 3,0)$  % соответственно, в лагуне на Зеленом мысу на глубине 4,5 м преобладали коричневоокрашенные ЗСБ –  $(53,3 \pm 3,3)$  %. По сравнению с измерениями, проведенными в августе-сентябре 2014, относительное содержание зеленоокрашенных зеленых серных бактерий в озере Кисло-Сладком и лагуне на Зеленом мысу увеличилось на 10 %, в озере Нижнем Ершовском – уменьшилось на 30%.

**10.** Изучены особенности ледяного покрова озер, получены данные о структуре льда.

**11.** Благодаря проведению снегомерных съёмов на территории исследованных озёр и их водосборов установлен запас воды в снежном покрове. Значения характеристик снежного покрова для всех водосборов схожи. Это обуславливается слабой связью снегозапасов с типом ландшафта или даже ориентацией склона. В качестве причин такого явления можно выделить невысокий процент сомкнутости крон леса (то есть плотность древостоя), который не позволяет проявиться ярко разнице средних значений высоты снежного покрова между залесенными участками и свободными от растительности такими, как опушки и болота. Однако при всем единообразии все же можно выделить основные закономерности. Так минимальные значения высоты снега приурочены к относительно открытым местностям (поверхность озера, вершина горы), где наблюдается дефляция снега. Кроме того, на склонах снега так же меньше, чем на субгоризонтальной поверхности. Максимальные значения высоты снега приурочены к отрицательным формам рельефа (заполнение локальных депрессий путем ветрового переноса снега), а также на границе озера с болотом и болота с лесом, где резко падают скорости ветра. Проведено сравнение полученных данных с данными по м/с Кандакша. Оценена возможность использования методов микроволнового дистанционного зондирования снега.

Взаимопомощь всех участников экспедиции, преодоление совместными усилиями возникающих трудностей помогли выполнить все поставленные задачи. Важным было и знакомство с современными приборами, технологиями, способами получения и обработки гидрометеорологической информации, которыми владеют наши коллеги с других кафедр и факультетов. Опыт проведения полевых исследований в столь сложных погодных условиях пригодится студентам всех специальностей в их будущей профессиональной деятельности.

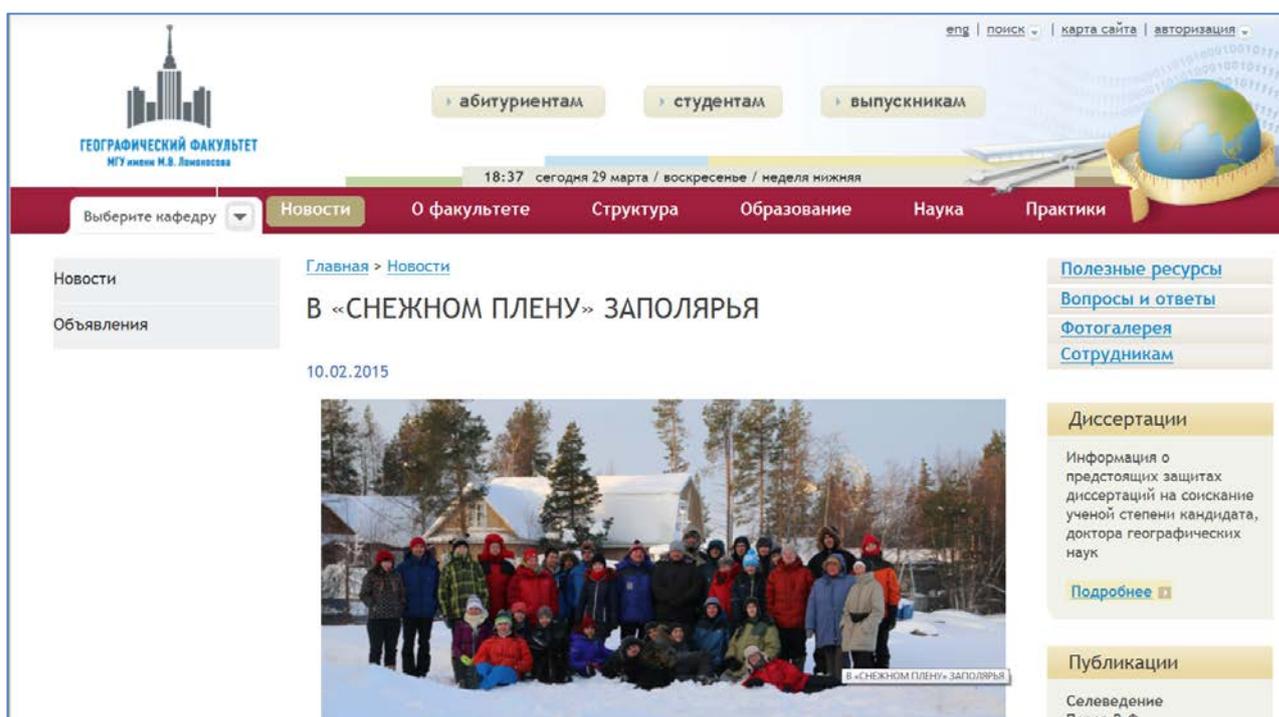
Преподаватели за время экспедиции прочитали студентам пять лекций:

Е.Д.Краснова (биофак МГУ) «О чудесах Кисло-Сладких озер»,  
А.С. Саввичев (Институт микробиологии РАН) «Земля – планета микробов»,  
И.А. Репина (Институт физики атмосферы РАН) «Современная изменчивость климата Арктики»,

А. Харчева (физфак МГУ) «Спектрофотометрия и спектрофлуориметрия для изучения свойств природных вод»

С.Л.Горин (ВНИИРО) «Камчатские лагуны, похожие и непохожие на беломорские прибрежные водоемы».

Краткий отчет размещен на сайте географического факультета МГУ: [http://www.geogr.msu.ru/news/news\\_detail.php?ID=10589](http://www.geogr.msu.ru/news/news_detail.php?ID=10589).



*Участники экспедиции выражают искреннюю признательность директору ББС МГУ им. Н.А. Перцова профессору А.Б. Цетлину, всем сотрудникам биостанции за теплый прием, внимание и помощь. Мы особенно благодарны с.н.с. биологического факультета МГУ, к.б.н. Е.Д. Красновой за всестороннюю поддержку, интересные научные идеи и помощь в организации полевых исследований. Мы очень рады сотрудничеству с преподавателями и студентами физического факультета МГУ. Надеемся, что наши совместные исследования продолжатся и в будущем.*

Информацию о работе экспедиции НСО можно найти также на сайте ББС МГУ – <http://wsbs-msu.ru/doc/view.php?ID=284>.





**Беломорская биологическая станция**  
 им. Н.А. Перцова в Биофака МГУ им. М.В. Ломоносова
 
 Русский
  English

[Главная](#) » [Практика](#) » [Гидрологи](#) »

## Зимняя экспедиция НСО "ГИДРА", 2015 г.

**О БИОСТАНЦИИ**

**ВОЗМОЖНОСТИ**

**ПРИРОДА**

**НАУЧНАЯ РАБОТА**

**ПРАКТИКА**

**Гидрологи**

- Зимняя экспедиция НСО "ГИДРА", 2014 г.
- Зимняя экспедиция НСО "ГИДРА", 2015 г.

**Геоморфологи**

**Физиологи**

**Океанологи**

**Метеорологи**

**Кафедра рационального**



**КРАТКИЙ ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ОТЧЕТ ОБ ЭКСПЕДИЦИИ НСО КАФЕДРЫ ГИДРОЛОГИИ СУШИ НА БЭС МГУ, 27 ЯНВАРЯ – 5 ФЕВРАЛЯ 2015 г.**

 **ОТЧЕТ ОБ ЭКСПЕДИЦИИ НСО 2015 ДЛЯ САЙТА.PDF** 1.83 МВ  
Отчет о зимней экспедиции НСО ГИДРА 2015 г.

**«В СНЕЖНОМ ПЛЕНУ»** — что означают эти слова, теперь знает каждый участник зимней экспедиции научного студенческого отряда кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ, и не понаслышке, а на собственном опыте. Кому прежде доводилось бывать на биостанции, и в голову не придет, что уют и гостеприимство БЭС может совмещаться с крутым полевым экстримом.

**ЦЕЛЬЮ ЭКСПЕДИЦИИ** было изучение водоемов, отделяющихся от моря из-за быстрого подъема берега. Неподалеку от биостанции есть пять озер на разных стадиях изоляции и три пресных, которые тоже некогда были морскими заливами. Год назад комплексная студенческая экспедиция гидрологического НСО начала эту работу, и результаты оказались столь захватывающими, что на конкурсе

**ПОЖЕРТВОВАНИЯ**  
 Благотворительный фонд БЭС

**АТЛАС**  
 флоры и фауны Белого моря

**КНИГИ БЭС МГУ**  
 для обмена

## Список литературы

1. Пантюлин А. Н., Краснова Е. Д. Отделяющиеся водоемы Белого моря: новый объект для междисциплинарных исследований. 2011. «Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии». Т. III. - М.: 2011. С. 241-245.
2. Крепс Е.М. Гидрологический очерк Черной губы на Новой Земле и реликтовых озер, к ней примыкающих // Исследования морей СССР. JL: ГГИ, 1927. Вып. 5. С. 10-80.
3. Реликтовое озеро Могильное. JL: Наука, 1975. 299 с.
4. Сапожников В.В., Аржанова Н.В., Титов О.В. и др. Гидрохимические и микробиологические особенности оз. Могильного // Вод. ресурсы. 2001. Т. 28. № 1. С. 58-66.
5. Шевченко Н.В. Особенности геоморфологического строения фиордовых берегов приливных морей на примере Кандалакшского залива Белого моря. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1999. 18 с.
6. Нинбург Е.А. Долгая губа: изоляция естественная и искусственная // Природа. 1990. № 7. С. 44-49.
7. Шапоренко С. И., Корнеева Г. А., Пантюлин А. Н., Перцова Н. М. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы. 2005. т.32. №5. С. 517-532.
8. Харчева А.В., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Горшкова О.М., Пацаева С.В. Спектрально-оптические и физико-химические свойства воды в меромиктических водоемах Кандалакшского залива Белого моря // Геология морей и океанов: Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2013. С. 261-265.
9. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/dv/iadv/index.php?code=pal>
10. Руководство по методам химического анализа поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 541 с.
11. 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.
12. ГОСТ Р 52769–2007. Вода. Методы определения цветности. Москва. Стандартинформ. 7 с.
13. Комаров Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель». Спб.: Изд.»Веда», 2006. 212 с.
14. Ермаченко Л.А., Ермаченко В.М. Атомно-абсорбционный анализ с графитовой печью. М.:ПАИМС, 1999. 219 с.
15. Кокрятская Н.М., Краснова Е.Д., Титова К.В., Лосюк Г.Н. Формирование сероводородного заражения отшнуровавшихся от моря озер (Кандалакшский залив Белого моря) // В сб. «Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии». Т. III. М.: 2011. С.123-125.
16. Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы, 2005. - N 32(5). — С. 517–532.
17. Kharcheva A.V., Meschankin A.V., Lyalin I.I., Krasnova E.D., Voronov D.A., Patsaeva S.V. The study of coastal meromictic water basins in the Kandalaksha Gulf of the White Sea by

spectral and physicochemical methods // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2014, - N 9031.

18. Mardashova M.V., Balabin F.A., Buvaly S.E., Garmayeva S.B., Grigorieva A.A., Ichenko S.A., Izyurov I.V., Karpychev V.V., Kosenkov A.V., Kruchinin I.V., Krylova M.A., Kuznetsov V.A., Malyshko E.V., Murtazina A.R., Nesmeyanova E.S., Varlamov S.A., Vinogradov D.S., Volovich N.M., Menshenina L.L., Krasnova E.D. Investigation of separating sea bays: an integrated approach (bathymetry, structure of the water column, benthic communities, ecology of indicator benthic and terrestrial species) on the model kisko-sladkoye and lower ershovskoye lakes. // Abstracts of lectures and poster presentations of the International White Sea Student Workshop on Optics of Coastal Waters; N.Pertsov White Sea Biological Station of MSU; Republic of Karelia, Russia, 30 August – 7 September, 2014, pages 23–24. WSBS – Moscow, 2014.

19. Шапоренко С.И. Кисло-сладкие озера у Полярного круга // Природа, 2004. - N 11. - С. 23-30.

20. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н. Кисло-сладкие озера, полные чудес // Природа, 2013. N 2. — С. 39–48.

21. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Воронов Д.А. Инвентаризация отделяющихся от моря водоемов на Карельском берегу Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря, pages 164–167. Петрозаводск Карельский научный центр РАН Петрозаводск, 2013

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. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря. - Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны. Геология, гидрология, биота: изменения на фоне трансгрессии берегов. // Труды Беломорской биостанции МГУ, т. XII. - М.: Изд-во КМК, 2014. В печати.

23. Лаптинский К.А., Калмацкая О.А., Медвецкая И.Ю., Краснова Е.Д. Microscopic studies of water horizons of five lakes of the white sea. // Материалы III Международной молодежной научно-практической конференции "Морские исследования и образование" (Москва, 22-24 октября 2014 г.), р. 186–188. Москва, 2014.

24. Кузнецов В.А., Григорьева А.А., Краснова Е.Д. Изучение состава фитопланктона Кисло-Сладкого озера спеткрофотометрическим методом // Материалы III Международной молодежной научно-практической конференции "Морские исследования и образование" (Москва, 22-24 октября 2014 г.). — Москва, 2014. — С. 220–222.

25. Чертопруд М.В., Чертопруд, Е.С. 2011. Донная фауна и сообщества лагуны Кисло-Сладкой в окрестностях ББС МГУ. Сайт Беломорской биологической станции МГУ, Наука, Комплексные исследования водоемов, отделяющихся от моря в, 2004-2013 гг. <http://wsbs-msu.ru/dict/view.php?ID=276>

26. Малышко Е.В., Несмеянова Е.С., Ильченко С.А., Мардашова М. В., Краснова Е. Д., Меньшенина Л. Л. Количественное распределение бентоса Кисло-Сладкого озера. // Материалы III Международной молодежной научно-практической конференции "Морские исследования и образование" (Москва, 22-24 октября 2014 г.), 231–240. Москва, 2014

27. Krasnova E.D., Pantyulin A.N., Belevich T.A., Voronov D.A., Demidenko N.A., Zhitina L.S., Pyash L.V., Kokryatskaya N.M., Lunina O.N., Mardashova M.V., Prudkovsky A.A., Savvichev A.S., Filippov A.S., Shevchenko V.P. Multidisciplinary studies of the separating lakes at different stage of isolation from the white sea performed in march 2012. Oceanology, 2013. 53(5): 714–717.

28. 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*, 83(3):346–354, 2014.
29. Прудковский А.А., Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н. Особенности распределения зоопланктона в районе ББС МГУ: 1. Анализ временной серии. 2. Гидромедузы в отделяющихся водоемах. — Материалы научной конференции «Морская биология, геология, океанология - междисциплинарные исследования на морских стационарах», посвященной 75-летию Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова (27 февраля – 1 марта 2013 г., Москва). М.: КМК, 2013. С. 259-264.
30. Моллюски Белого моря. Л.: Наука, 1987. - 328 с
31. Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. – М.: МАКС Пресс, 2003. – 196 с.
32. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / Под общ. ред. С.Я. Цалолихина. Т. 5. Высшие насекомые. – СПб.: Наука, 2001. – 825 с.
33. Цветкова Н.Л. Прибрежные гаммариды северных и дальневосточных морей СССР и сопредельных вод. Л.: Наука, 1975 – 256 с.
34. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Планктон и бентос. Под ред. Л.А. Кутиковой, Я.И. Старобогатова Л. Гидрометеиздат. 1977г. 512с.илл.
35. Чикина М.В., Спиридонов В.А., Мардашова М.В.. Изучение пространственной и временной изменчивости прибрежных донных сообществ Керетского архипелага и пролива Великая Салма (Кандалакшский залив, Белое море). // *Океанология*, 54(1):60–72, 2014.
36. Краснова Е.Д., Демиденко Н.А., Пантюлин А.Н., Фролова Н.Л., Ефимова Л.Е., Широкова В.А., 2014. Термический и ледовый режимы реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Труды VIII международной конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей», Москва, Российский университет дружбы народов, 24–27 ноября 2014 г. Т. 1. С 430-443.
37. Краснова Е.Д., Воронова А.Д., Воронов Д.А. Влияние образования льда на формирование вертикальной стратификации в соленых лагунах, отделяющихся от Белого моря. — Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. XII Международная конференция с элементами школы для молодых ученых и аспирантов. Сборник материалов. Петрозаводск, Россия. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. С. 168-170.
38. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Воронова А.Д. Роль вымораживания рассола из морского льда в формировании вертикальной стратификации в водоемах, отделяющихся от Белого моря. — Геология морей и океанов: Материалы XX Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Т. 3. — М.: ГЕОС, 2013. С. 201-205.
39. Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М., Краснова Е.Д. Сероводородное заражение озера Кисло-Сладкое (ББС МГУ) — Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием: в 3 ч. / Институт промышленной экологии Севера. Апатиты, 23-27 июня 2014г. - Апатиты: КНЦ РАН, 2014. - Ч.3. - с. 187-189.
40. Проблемы ранней эволюции фотосинтеза. Отв. ред. В.М. Горленко, С.В. Рожнов. Серия «Геобиологические процессы в прошлом». Москва, ПИН РАН, 2011. 218 с. ISBN 978-5-903825-20-2

41. J. Overmann. The Family Chlorobiaceae, *The Prokaryotes* 7: 359-378, 2006.
42. Труды Института микробиологии имени С.Н. Виноградского: Вып. 15: Фотосинтезирующие микроорганизмы / Ин-т микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН. Отв. редактор В.Ф. Гальченко. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 352 с. ISBN 978-5-317-03436-8
43. A.V. Kharcheva, A.V. Meschankin, I.I. Lyalin, E.D. Krasnova, D.A. Voronov, S.V. Patsaeva. The study of coastal meromictic water basins in the Kandalaksha Gulf of the White Sea by spectral and physicochemical methods // *Proc. SPIE 9031, Saratov Fall Meeting 2013: Optical Technologies in Biophysics and Medicine XV; and Laser Physics and Photonics XV, 90310T* (January 30, 2014); DOI: 10.1117/12.2051737
44. Лунина О.Н., Саввичев А.С., Кузнецов Б.Б., Пименов Н.В., Горленко В.М. Аноксигенные фототрофные бактерии стратифицированного озера Кисло-Сладкое (Кандалакшский залив Белого моря), *Микробиология* 83, № 1, с. 90-108 (2014).
45. A.V. Kharcheva, E.D. Krasnova, D.A. Voronov, S.V. Patsaeva. Spectroscopic study of the microbial community in chemocline zones of relic meromictic lakes separating from the White Sea // *Proc. SPIE 9448, Saratov Fall Meeting 2014: Optical Technologies in Biophysics and Medicine XVI; Laser Physics and Photonics XVI; and Computational Biophysics, 94480I* (March 19, 2015); doi:10.1117/12.2180066
46. Эдельштейн К.К. “Гидрология озер и водохранилищ”. Учебник для вузов. М., Перо, 2014, 399 с.

**Приложение 1 – Результаты химических анализов проб воды, снега и льда**

Адрес пробы, горизонт	рН	Форма выражения	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Сумма ионов	Концентрация биогенных элементов, мг/л			Цв, град	Fe, мг/л
										Ошибка анализа %	P <sub>мин</sub>	P <sub>вал</sub>	Si		
Трехцветное - снег		мг/л	0,0	1,0	4,6	0,7	0,3	1,4	0,0	8,0	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	0,0	8,1	47,9	12,8	9,2	22,0	0,0	12,0					
Трехцветное - лед снежный		мг/л	7,9	6,7	29,0	3,8	2,7	13,5	0,8	64,5	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	6,2	6,6	38,8	8,9	10,6	27,8	1,0	3,3					
Трехцветное - лед кристаллич.		мг/л	3,7	6,2	14,9	2,4	1,4	7,2	0,7	36,4	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	5,1	10,9	35,7	10,2	10,0	26,6	1,5	3,5					
Трехцветное - 0,5 м		мг/л	48,8	25,5	188,8	18,8	13,1	96,1	6,2	397,3	0,0	0,054	1,66	29	0,380
		%-ЭКВ	6,2	4,1	40,9	7,2	8,3	32,1	1,2	2,3					
Трехцветное - 1 м		мг/л	54,3	43,0	389,0	22,2	31,1	165,1	7,5	712,2	0,0	0,06		48	0,344
		%-ЭКВ	3,7	3,8	46,1	4,7	10,8	30,2	0,8	7,2					
Трехцветное - 2м		мг/л	646,6	1200,0	6230,0	299,0	511,0	3990,0	184,0	13060,6	0,96	1,13	7,6	54	0,575
		%-ЭКВ	2,4	5,6	39,3	3,3	9,4	38,9	1,1	-5,4					
Трехцветное - 4 м		мг/л	908,0	880,0	12446	206,0	904,0	7958,0	195,0	23497,0	4,038			57	0,463
		%-ЭКВ	1,9	2,2	42,8	1,3	9,1	42,2	0,6	-6,3					
Трехцветное - дно		мг/л	915	580	12947	515	826	7014	312	23109	7,79			50	0,498
		%-ЭКВ	1,9	1,5	45,7	3,2	8,5	38,2	1,0	-1,9					
Верхнее - снег	5,26	мг/л	0,0	1,5	5,4	1,3	1,4	1,2	0,3	11,1	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	0,0	7,1	35,5	15,4	27,5	12,6	1,9	-14,9					
Верхнее - лед снежный	6,85	мг/л	5,5	2,1	8,3	2,6	0,8	4,0	0,1	23,5	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	12,1	5,8	31,4	17,7	9,1	23,4	0,4	-1,3					
Верхнее - лед кристаллич.	6,85	мг/л	5,5	1,6	5,5	2,5	0,6	2,7	0,2	18,6	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	15,8	5,8	27,1	15,8	14,0	20,6	0,9	-2,6					
Верхнее - 0,5 м	5,83	мг/л	7,3	2,3	2,0	1,9	0,7	2,2	0,3	16,6	0	0,066	0,87	43	0,167
		%-ЭКВ	25,3	9,9	11,8	20,3	11,3	20,2	1,3	-6,2					
Верхнее – дно (2,6 м)	6,56	мг/л	20,1	1,4	1,7	5,4	1,3	2,2	0,9	33,1	0,032	0,214	2,50	75	1,566
		%-ЭКВ	36,4	3,2	5,2	29,8	12,2	10,7	2,5	-10,3					

Адрес пробы, горизонт	рН	Форма выражения	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Сумма ионов	Концентрация биогенных элементов, мг/л			Цв, град	Fe, мг/л
										Ошибка анализа %	P <sub>мин</sub>	P <sub>вал</sub>	Si		
Водопроводное – 0,5 м	5,35	мг/л	15,3	2,0	2,2	5,6	1,1	2,0	0,2	28,3	0	0,05	2,95	72	0,621
		%-ЭКВ	30,6	5,0	7,7	34,2	11,2	10,6	0,6	-13,3					
Водопроводное – дно (2,8 м)	5,8	мг/л	25,0	0,7	3,0	7,8	1,5	3,5	0,4	42,0	0	0,141	7,85	180	5,611
		%-ЭКВ	34,5	1,1	7,2	32,8	10,5	12,9	0,9	-14,2					
В.Ершовское - 0,5 м	6,56	мг/л	60,4	2,6	4,5	16,3	2,4	8,6	1,6	96,3	0	0,04	4,64	36	0,265
		%-ЭКВ	38,2	2,1	4,9	31,4	7,5	14,4	1,6	-9,7					
В.Ершовское - 2,5 м	6,42	мг/л	72,0	2,0	6,9	16,3	2,7	9,9	2,1	111,7	2	0,109	7,35	49	1,701
		%-ЭКВ	40,3	1,4	6,6	27,7	7,6	14,6	1,8	-3,5					
В.Ершовское - дно (4,1 м)	6,51	мг/л	77,5	2,1	7,7	18,1	2,8	12,4	2,4	123,0	0,860	1,01	8,0	100	2,531
		%-ЭКВ	38,9	1,4	6,6	27,6	7,1	16,5	1,8	-6,3					
Н.Ершовское - снег	5,3	мг/л	0,0	0,5	0,8	0,4	0,2	0,3	0,0	2,2	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	0,0	13,9	29,5	25,3	12,2	15,5	0,0	-13,3					
Н.Ершовское - лед снежный	6,55	мг/л	7,9	1,8	2,2	2,4	0,6	1,3	0,5	16,7	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	28,0	8,3	13,5	25,7	10,1	11,8	2,6	-0,4					
Н.Ершовское - лед кристаллич.г	6,25	мг/л	3,1	0,3	1,8	1,0	0,2	0,6	0,4	7,2	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	24,6	3,0	25,4	24,5	6,1	11,8	4,5	6,1					
Н.Ершовское - 0,5 М	7,5	мг/л	18,3	4,7	10,1	4,8	3,0	6,0	0,6	47,5	0	0,044	1,96	24	-
		%-ЭКВ	20,7	6,8	19,7	16,6	17,3	18,0	1,0	-5,7					
Н.Ершовское - 2 м	7,24	мг/л	39,4	17,1	121,5	23,2	16,4	30,1	5,6	253,3	0,16	0,300	3,10	32	-
		%-ЭКВ	7,7	4,2	40,7	13,8	16,3	15,6	1,7	5,3					
Н.Ершовское - дно (2,5 м)	7,43	мг/л	60,3	86,9	598,0	37,2	69,7	227,2	20,6	1100	1,15	1,29	3,60	35	-
		%-ЭКВ	2,6	4,8	45,0	4,3	15,5	26,4	1,4	4,9					
Кисло-Сладкое снег	5,3	мг/л	0,0	4,4	23,5	1,1	1,9	11,9	0,6	43,4	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	0,0	6,0	44,2	3,6	10,6	34,6	1,0	0,4					
Кисло-Сладкое лед снежный	7,2	мг/л	67,1	213,2	1100,0	31,3	83,4	518,8	21,8	2035,6	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	1,6	6,5	45,5	2,3	10,1	33,1	0,8	7,3					
Кисло-Сладкое лед	7	мг/л	61,0	88,9	596,3	20,7	43,8	299,3	12,9	1122,9	-	-	-	-	-

Адрес пробы, горизонт	рН	Форма выражения	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Сумма ионов	Концентрация биогенных элементов, мг/л			Цв, град	Fe, мг/л
										Ошибка анализа %	P <sub>мин</sub>	P <sub>вал</sub>	Si		
кристаллич.		%-ЭКВ	2,7	4,9	44,6	2,7	9,6	34,6	0,9	4,4					
Кисло-Сладкое - 0,5 м	7,27	мг/л	213,6	1355,0	10365,0	342,0	730,0	6552,0	315,0	19872,6	0	0,021	2,10	69	0,477
		%-ЭКВ	0,5	4,1	42,1	2,5	8,7	41,1	1,2	-6,7					
Кисло-Сладкое - 1 м	7,34	мг/л	225,8	1850,0	12500,0	325,0	832,0	7422,0	255,0	23409,8	0,003	0,30	3,15	57	0,517
		%-ЭКВ	0,5	4,8	43,6	2,0	8,5	39,9	0,8	-2,4					
Кисло-Сладкое - 3,5 м (дно)	7,28	мг/л	231,9	1909,0	13000,0	410,0	1003,0	7924,0	263,0	24740,9	0,260	0,608	3,65	47	0,560
		%-ЭКВ	0,4	4,6	42,4	2,4	9,5	39,9	0,8	-5,1					
3.Мыс - снег	6	мг/л	0,1	42,8	226,0	5,2	18,0	106,3	3,6	401,9	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	0,3	6,5	46,3	1,9	10,7	33,6	0,7	6,2					
3.Мыс - лед снежный	7	мг/л	19,5	12,6	495,8	20,2	42,8	250,5	11,0	852,3	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	1,1	0,9	46,2	3,3	11,6	36,0	0,9	-3,8					
3.Мыс - лед кристаллич.	6,7	мг/л	9,8	205,0	1117,5	33,8	96,5	564,9	20,0	2047,5	-	-	-	-	-
		%-ЭКВ	0,2	6,0	44,6	2,4	11,2	34,8	0,7	1,7					
3.Мыс – 0,5 м	7,35	мг/л	201,4	1782,0	13303,0	340,0	984,0	8361	301,0	25272,4	0,008	0,046	0,27	13	1,100
		%-ЭКВ	0,4	4,3	43,0	1,5	8,3	41,7	0,9	-4,7					
3.Мыс – 4,5 м	7,22	мг/л	189,2	1753,0	13600,0	340,0	972,0	8551	392,0	25797,2	0,074	0,09	2,41	33	1,152
		%-ЭКВ	0,3	4,1	43,0	1,5	8,3	41,7	1,1	-5,2					
3.Мыс – 5,5 м	7,1	мг/л	189,2	1701,0	13570,0	358,0	914,0	8462	395,0	25589,2	1,21	1,71	7,22	58,8	1,150
		%-ЭКВ	0,3	4,0	43,1	1,5	8,3	41,5	1,1	-5,0					

**Приложение 2. Координаты точек гидролого-гидрохимической съемки в 2015 г.**

<b>№пп</b>	<b>Озеро</b>	<b>Название точки</b>	<b>Широта</b>	<b>Долгота</b>	<b>Дата</b>
1.	Кисло-Сладкое	236	66,54825	33,13525	28.01.2015
2.	Кисло-Сладкое	237	66,54824	33,13556	28.01.2015
3.	Кисло-Сладкое	238	66,54829	33,13595	28.01.2015
4.	Кисло-Сладкое	239	66,5481	33,13594	28.01.2015
5.	Кисло-Сладкое	240	66,54801	33,13588	28.01.2015
6.	Кисло-Сладкое	241	66,54806	33,13503	28.01.2015
7.	Кисло-Сладкое	242	66,54785	33,13497	28.01.2015
8.	Кисло-Сладкое	244	66,54819	33,13686	28.01.2015
9.	Кисло-Сладкое	245	66,54852	33,13513	28.01.2015
10.	Кисло-Сладкое	246	66,54832	33,13441	28.01.2015
11.	Кисло-Сладкое	247	66,54833	33,13396	28.01.2015
12.	Кисло-Сладкое	248	66,54871	33,13427	28.01.2015
13.	Верхнее Ершовское	BE1	66,55369	33,1011	29.01.2015
14.	Верхнее Ершовское	BE2	66,54297	33,04709	29.01.2015
15.	Верхнее Ершовское	BE3	66,54274	33,04776	29.01.2015
16.	Верхнее Ершовское	BE4	66,54228	33,04865	29.01.2015
17.	Верхнее Ершовское	BE5	66,5418	33,04927	29.01.2015
18.	Верхнее Ершовское	BE6	66,54139	33,04983	29.01.2015
19.	Верхнее Ершовское	BE7	66,54112	33,05037	29.01.2015
20.	Верхнее Ершовское	BE8	66,54088	33,05077	29.01.2015
21.	Верхнее Ершовское	BE9	66,54055	33,05139	29.01.2015
22.	Верхнее	B1	66,54339	33,09745	30.01.2015
23.	Верхнее	B2	66,54359	33,09702	30.01.2015
24.	Верхнее	B3	66,54378	33,09676	30.01.2015
25.	Верхнее	B4	66,54404	33,09642	30.01.2015
26.	Верхнее	B5	66,54425	33,09606	30.01.2015
27.	Верхнее	B6	66,54412	33,09756	30.01.2015
28.	Водопроводное	ВОД1	66,54566	33,10404	30.01.2015
29.	Водопроводное	ВОД2	66,54560	33,10448	30.01.2015
30.	Водопроводное	ВОД3	66,54553	33,10509	30.01.2015
31.	Трехцветное	1	66,59222	32,98154	31.01.2015
32.	Трехцветное	2	66,59237	32,98067	31.01.2015
33.	Трехцветное	3	66,59258	32,97986	31.01.2015
34.	Трехцветное	4	66,59281	32,97907	31.01.2015
35.	Трехцветное	5	66,59303	32,97826	31.01.2015
36.	Трехцветное	6	66,59319	32,97746	31.01.2015
37.	Трехцветное	7	66,59258	32,97878	31.01.2015
38.	Трехцветное	8	66,59208	32,97824	31.01.2015
39.	Нижнее Ершовское	HE1	66,538	33,06032	01.02.2015
40.	Нижнее Ершовское	HE2	66,53808	33,06062	01.02.2015
41.	Нижнее Ершовское	HE3	66,5381	33,05914	01.02.2015
42.	Нижнее Ершовское	HE4	66,53822	33,05847	01.02.2015
43.	Нижнее Ершовское	HE5	66,53841	33,0576	01.02.2015
44.	Нижнее Ершовское	HE6	66,53756	33,05892	01.02.2015
45.	Нижнее Ершовское	HE7	66,5372	33,05913	01.02.2015
46.	Нижнее Ершовское	HE8	66,53698	33,05929	01.02.2015
47.	Нижнее Ершовское	HE9	66,53671	33,05947	01.02.2015
48.	Лагуна на зеленом мысу	3M1	66,53021	33,09496	03.02.2015