

Беломорская биологическая станция МГУ
Институт океанологии РАН

Комплексные исследования
Бабьего моря,
полуизолированной
беломорской лагуны:
геология, гидрология, биота —
изменения на фоне
трансгрессии берегов

(Труды Беломорской биостанции МГУ т. 12)

*Под общей редакцией
В.О. Мокиевского, А.И. Исаченко,
П.Ю. Дгебуадзе, А.Б. Цетлина*

Товарищество научных изданий КМК
Москва ♦ 2016

К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря

*Е.Д. Краснова¹, Д.А. Воронов^{2,3}, Н.А. Демиденко⁴, Н.М. Кокрятская⁵, А.Н. Пантюлин⁶,
Т.А. Рогатых¹, Т.Е. Самсонов⁷, Н.Л. Фролова⁸, С.И. Шапоренко⁹*

¹ Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова, Биологический факультет МГУ, Москва; ² Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва; ³ НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ, Москва; ⁴ Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва; ⁵ Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск; ⁶ Кафедра океанологии Географического факультета МГУ, Москва; ⁷ Кафедра картографии и геоинформатики Географического факультета МГУ, Москва; ⁸ Кафедра гидрологии суши Географического факультета МГУ, Москва; ⁹ Институт водных проблем РАН. E-mail: e_d_krasnova@wsbs-msu.ru

For inventory of relict basins separated from the White Sea

*E.D. Krasnova, D.A. Voronov, N.A. Demidenko, N.M. Kokryatskaya, A.N. Pantyulin,
T.A. Rogatykh, T.E. Samsonov, N.L. Frolova, S.I. Shaporenko*

Благодаря извилистой береговой линии, сложному рельефу дна и быстрому гляцио-изостатическому поднятию берега на беломорском побережье сложились благоприятные условия для отчленения заливов и губ от моря. В последние несколько лет на Беломорской биостанции МГУ активно развиваются междисциплинарные исследования водоемов на разных стадиях развития изоляции водоемов морского происхождения от лагун с полной амплитудой приливных колебаний до стабильных меромиктических водоемов. Главная черта, объединяющая описанные десять водоемов — устойчивая вертикальная стратификация, в предельном варианте стремящаяся к меромиксии. В данной работе приведены описания 10 водоемов, наиболее характерных для этой категории.

Due to the sinuate coastline, bottom topography and rapid glacioisostatic uplift there are favorable conditions for bays separation on the White Sea coast. In the past few years interdisciplinary studies of the lakes of marine origin are actively developing on the White Sea Biological Station of Moscow State University. Different stages of lakes isolation are presented beginning with the lagoons with unaltered tidal oscillations to meromictic lakes as the necessary stage of coastal lake evolution. The main feature of the studied lakes is vertical stratification. In this paper we present the description of 10 reservoirs, the most typical for this category.

Введение

Благодаря извилистой береговой линии, сложному рельефу дна и быстрому гляцио-изостатическому поднятию берега на беломорском побережье сложились благоприятные условия для отчленения заливов и губ от моря. Историю их перехода из морского состояния в пресноводное можно проследить по вертикальной стратификации донных осадков. В толще отложений озер и болот на глубине от одного до нескольких метров можно най-

ти желтый морской грунт с примесью ракуши, перекрытый слоистыми отложениями из чередующихся желтых и черных сульфидных прослоек, которые сформировались на стадии частичной изоляции водоема (Колька и др., 2012, 2013а,б; Колька, Корсакова, 2013). Радиоуглеродные датировки границ слоистых отложений в озерах Соловецкого архипелага говорят о том, что озера, расположенные на разной высоте, отделились от моря в разное время, и позволяют оценить продолжительность промежуточного этапа перехода из морского в пресноводное состояние в несколько сотен лет (Субетто и др., 2012). Поднятие берегов Белого моря продолжается, и темп его очень высок, особенно Карельского и Канда-лакшского берегов (Чернов, 1947; Колька и др., 2012, 2013а,б; Романенко, Шилова, 2012; Колька, Корсакова, 2013); средняя скорость на полуострове Киндо в окрестностях Беломорской биостанции (далее — ББС) МГУ за столетие оценивается в 40 см (Романенко, Шилова, 2012), благодаря чему процесс отделения морских заливов идет и в наше время. Объект данного исследования — водоемы на промежуточной стадии изоляции от моря, которые еще имеют соленую воду, по крайней мере, в углублениях дна. Обмен воды с морем в них ослаблен из-за порога (или нескольких порогов), ограничивающего поступление морской воды с приливами, или вовсе перекрывающего ей путь.

В последние несколько лет на Беломорской биостанции МГУ активно развиваются междисциплинарные исследования таких водоемов. В них участвует несколько факультетов МГУ имени М.В. Ломоносова: географический (кафедры океанологии, геоморфологии и палеогеографии, гидрологии суши, геохимии ландшафтов и географии почв, картографии и геоинформатики), биологический (кафедры зоологии беспозвоночных, гидробиологии, микробиологии, биофизики), физический (кафедры биофизики, общей физики, квантовой электроники), факультет биоинженерии и биоинформатики, и несколько научно-исследовательских учреждений: НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Государственный океанографический институт, Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Институт водных проблем РАН, Институт экологии Волжского бассейна, Московский физико-технический институт. Интерес к этим водоемам связан с их своеобразием. По экологической структуре они, с одной стороны, резко отличаются от других участков беломорской акватории, а с другой — представляют собой типичное для беломорского побережья явление. Небольшие размеры, четкость гидрологической структуры и ограниченный видовой состав биоты делают их удобным объектом для построения моделей, применимых к более крупным участкам акваторий, включая все Белое море, которое тоже представляет собой частично изолированный водоем, но более сложный для моделирования.

История изучения беломорских водоемов, отделяющихся от моря

История изучения частично изолированных водоемов на побережье Белого моря насчитывает уже около полутора столетий. Первым беломорским водоемом из этой категории, который оказался в поле внимания исследователей, была губа Долгая (Глубокая) на Большом Соловецком острове. Это обширная губа ковшового типа с глубинами до 18 м и отрицательной температурой на глубине 15–18 м (так же как и в Бабьем море, которому посвящена большая часть данной монографии), что необычно для Белого моря, где отрицательные температуры встречаются не выше 100 м. Столь же необычно высоко в губе Долгой поднимается и арктическая фауна. Изоляция этого водоема от моря усилена деятельностью человека: в 1856 г. соловецкие монахи воздвигли на внешнем пороге дамбу. Изучение этой губы началось в конце XIX века одним из осно-

воположников российской океанологии Н.М. Книповичем (1893), продолжено Н.А. Ливановым (1911), затем узником соловецкого лагеря К.П. Чудновым (1925) — все исследования касались, главным образом, бентоса. В конце XX Е.А. Нинбург со своими учениками из Лаборатории экологии морского бентоса Дворца творчества юных в Санкт-Петербурге в течение пяти лет детально изучали современный состав бентоса, сопоставили свои данные с материалами предыдущих исследований и выявили вековые изменения в его составе (Нинбург, 1990; Хайтов и др., 2013).

Говоря о прибрежных водоемах, отделившихся от моря, нельзя не упомянуть озеро Могильное на о. Кильдин в Баренцевом море, комплексное изучение которого было начато Н.М. Книповичем (Knipowitsch, 1895) и К.М. Дерюгиным (1925) и продолжается до настоящего времени (Реликтовое озеро Могильное, 1975; Реликтовое озеро Могильное, 2002; Стрелков и др., 2005; Новиков и др., 2006; Митяев и др., 2008; Strelkov et al., 2014).

Систематические комплексные исследования беломорских отделяющихся водоемов как массового явления начались в 30-х годах XX века, когда на Белом море была организована Беломорская методическая станция Государственного гидрологического института, где изучение реликтовых водоемов стало одной из приоритетных научных тем. Методика работ отработывалась в небольшой двойной лагуне, расположенной в Малой Пирью-губе (близ с. Умба), где базировалась станция, параллельно проводились комплексные исследования в Бабьем море. Через несколько лет после начала исследований Г.С. Гурвич и Е.В. Соколова (1939) уже имели достаточно данных, чтобы сделать первые наброски типологии реликтовых водоемов. К сожалению, в связи с политическими репрессиями гидрологическая станция была реорганизована в метеостанцию и исследования прекращены. В 20-е и 30-е годы XX века исследование донных отложений отделяющихся водоемов проводилось и на Карельском берегу вблизи станции Ковда (Чернов, 1947).

На Беломорской биостанции МГУ отделяющиеся от моря водоемы стали объектом пристального внимания в конце 1990-х гг. Первым было исследовано озеро Кисло-Сладкое (Полупресная лагуна) в 1,5 км от ББС МГУ (Шапоренко, 2003, 2004; Шапоренко и др., 2005), удивившее океанологов необычной трехслойной структурой водной толщи, устойчивой к ветровому перемешиванию. Несколькими годами позже в окрестностях ББС МГУ было обнаружено еще одно подобное озеро-лагуна на Зеленом мысу. В 2010 г. в ходе экспедиции Всемирного фонда дикой природы (WWF) вдоль карельского побережья, организованной с природоохранными целями, гидробиологический отряд под руководством Е.Д. Красновой обследовал участок побережья от пос. Чупа до дер. Гридино протяженностью около 100 км. Было обнаружено еще несколько озер с похожими характеристиками (Краснова, 2010). Впоследствии при обследовании Ковдской, Ругозерской губ, губы Чупа и Великой Салмы было обнаружено еще несколько подобных водоемов. Стало понятно, что таких водоемов очень много, и их разнообразие на Карельском берегу Белого моря дает достаточный материал для типологических построений (Пантюлин, Краснова, 2011; Краснова и др., 2013д).

Терминология

Объекты наших исследований мы обычно называем «водоемами, отделяющимися от моря». Это название, хотя и длинное, лучше других очерчивает круг водных объектов, найденных нами на побережье Белого моря. Другие исследователи в своих публикациях используют разные термины, поэтому мы считаем необходимым остановиться на терминологии.

Для обозначения этого класса водных объектов есть несколько вариантов, с разной степенью точности отражающих их особенности.

Реликтовыми называют водоемы, которые возникают при отчленении части акватории от моря или озера в результате тектонических движений или образования аккумулятивных форм, например, пересыпей и кос. Это понятие отражает происхождение водоема безотносительно к его размерам и гидрологическим особенностям. Чаще всего оно звучит применительно к озеру Могильному на о. Кильдин, которое несколько тысяч лет назад возникло путем отделения от Баренцева моря каменистой перемычкой, в подводной части которой сохранилась фильтрационная связь с морем. К числу реликтовых относят также Каспийское море как остатки бывшего Сарматского моря, отделившиеся от Черного моря после поднятия суши (Соколов, 1952). Прибрежные беломорские полуизолированные водоемы вписываются в это понятие. Именно так называли объект своих исследований исследователи Беломорской методической станции Государственного гидрологического института (Гурвич, Соколова, 1939). Единственное, что мешает применять понятие реликтового водоема к этому классу водных объектов сегодня — это слишком краткая история большинства из них. Понятия «реликт» и «реликтовый» ассоциируются с древностью, что трудно применить к водоему возрастом лишь несколько столетий.

Ковшовой губой обычно называют акваторию, отделенную от моря узким более мелководным порогом. Г.С. Гурвич и Е.В. Соколова (1939) ковшовыми губами называли «кутовые участки заливов, отделенные от основного водоема подводным барьером, в которых время и амплитуда приливов такие же, как в море». Кроме уточнения о неизменном приливно-отливном режиме, они ввели количественную характеристику — соотношение глубины порога и водоема. Для ковшовых губ эта величина меньше 1/12. К этой категории они отнесли Бабье море, хотя режим приливов в нем существенно отличается от морского (Соколова, 1934). К ковшовым принято относить губу Долгую на Большом Соловецком острове; по существу, практически все беломорские губы, включая крупные, такие, как Колвица и Лов-губа, попадают в эту категорию ввиду сложного рельефа дна, в котором непременно есть депрессии и повышения, которые в той или иной степени ограничивают приливные течения.

Лагуна. Согласно определению это «неглубокий естественный водоем, соединяющийся с морем узким проливом или отделенный от него грядой из песка, гальки и т.п.». Таким образом, от ковшовой губы его отличает только малая глубина. В типологии Г.С. Гурвича и Е.В. Соколовой (1939) эта категория противопоставляется ковшовым губам. Они определяли лагуны как «водоемы, соединенные с морем только узким и мелководным проливом, в них приливной режим значительно разнится от режима основного бассейна» из-за того, что вышеуказанное отношение равно или превышает 1/12. Эту категорию водных объектов они разделили на три группы: 1) лагуны без дефицита кислорода с отношением глубин порога и водоема 1:12; 2) лагуны с зимней аэрацией придонных слоев; 3) лагуны с летне-осенней аэрацией придонных слоев. По всей видимости, среди водных объектов, которые им были известны, не было варианта с круглогодичным отсутствием аэрации в придонном слое, который соответствует известным теперь прибрежным меромиктическим водоемам.

Соленое озеро. В эту категорию попадают все водоемы с повышенным содержанием минеральных солей, включая озера аридных ландшафтов, и не входят многочисленные прибрежные водоемы с пресным поверхностным слоем и соленым придонным. Несмотря на различия в источнике солей и в происхождении, между прибрежными отделяющимися водоемами и континентальными солеными озерами очень много общего,

в частности — появление меромиксии, резкие физико-химические градиенты в области хемоклина и вертикальная структура экосистемы с высокой первичной продукцией в области редокс-зоны, главным образом за счет анакисогенного фотосинтеза бактерий.

Меромиктическое озеро. Так называют химически стратифицированные двухслойные озера, в которых различия в плотности между поверхностной и придонной водами приводят к стабильной вертикальной стратификации. Сезонное и ветровое перемешивание в меромиктическом озере ограничивается верхним слоем (миксолимнионом), который не смешивается с нижним слоем (монимолимнионом). Различия в плотности могут быть обусловлены составом и концентрацией растворенных и взвешенных в воде веществ, например — минеральных веществ из подстилающих горных пород, выходов минеральных источников на дне, из-за сбросов сточных вод, сильно загрязненных промышленными отходами, из-за большой глубины водоема. Плотностная стратификация наблюдается также в водоемах морского происхождения, где морская вода покрыта слоем пресной, стекающей с водосбора. Меромиктическими могут быть как маленькие водоемы площадью в десятые доли гектара, так и целые моря. В строгом толковании термина к этой категории относятся только те водоемы, в которых слои не перемешиваются никогда. Ему отвечают озеро Могильное, Черное море, соленые озера Шира и Шунет в Хакасии (Реликтовое озеро ..., 1975, 2002; Рогозин и др., 2005; Савичев и др., 2005). Но есть и расширенное толкование, которое допускает периодические нарушения стратификации. Среди большого разнообразия прибрежных водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря, есть как отвечающие строгому толкованию, так и подвергающиеся возмущениям с разной периодичностью.

Перечисление обобщающих названий, применяемых к этой категории объектов, будет неполным, если мы не упомянем два неологизма, родившихся в коллективе исследователей этих водоемов на ББС МГУ: «кисло-сладкие озера» и «водоемы-изгои». Собирательное название «**кисло-сладкие озера**» появилось с легкой руки гидролога Сергея Ивановича Шапоренко (Шапоренко, 2004), который первым описал особенности гидрологической структуры озера Кисло-Сладкого, обнаружил его сходство с другим водоемом — лагуной на Зеленом мысу, определил их режим как уникальный для Белого моря и предсказал существование на беломорском побережье множества подобных озер со сходными батиметрическими особенностями (наличие впадины на дне при общем преобладании мелководий), из-за которых затруднен водообмен с морем, возрастает опресняющее влияние вод суши, и в силу этого складываются экстремальные гидрологические и гидрохимические условия (Шапоренко 2003, 2004; Шапоренко и др., 2005). Сам же топоним «Кисло-Сладкое» возник в фольклоре Беломорской биостанции МГУ в 1970-е гг. как замена названиям «Полупресная лагуна» и «Полусоленое озеро», официально закрепленным на разных картах, и прижился ввиду образности и соответствия особенностям водоема, где одновременно присутствуют опресненный («сладкий») и соленый сероводородный («кислый») слои воды. «**Водоемами изгойми**» их нарек один из авторов данной работы океанолог Анатолий Николаевич Пантюлин, поскольку по мере отделения от моря эти прибрежные водоемы выходят из-под влияния моря, но, до тех пор, пока не превратятся в пресноводные континентальные озера, еще не приняты сушией.

Материал и методы

В данной статье использованы материалы полевых исследований, выполненных на базе Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова в 2010–2014 гг. Обследован Карельский берег от пос. Ковда до дер. Гридино, включая ближайшие

окрестности Ковды, Ругозерскую губу, пролив Великая Салма, губы Кислую, Чернореченскую и Чупинскую, побережье между мысом Шарапов и д. Гридино (с особым вниманием к району о. Соностров) и окрестности дер. Калгалакша. Некоторые водоемы были найдены по картам, некоторые — по сообщениям других исследователей и местных жителей. В отдаленных районах водоемы обследованы однократно, в окрестностях д. Ковда — каждое лето, на близких к ББС МГУ водоемах проводятся регулярные наблюдения, включая ежемесячные исследования в летне-осенний сезон (с июня до октября) и ежегодные зимние работы.

С помощью эхолота в водоеме находили самое глубокое место и над ним с помощью силиконовой трубки, закрепленной на калиброванном тросе, и портативного насоса Whale Premium Submersible Pump GP1352 отбирали пробы воды от поверхности до дна с шагом 0,5 м. Во всех пробах измеряли температуру и соленость воды кондуктометром WTW Cond 3110, регистрировали цвет, запах, появление пузырьков газа; оксиметром с погружным зондом определяли содержание кислорода, а погружным люксметром измеряли освещенность. Пробы воды исследовали с помощью светового микроскопа и флуоресцентного микроскопом Leica с набором фильтров N2.1 (возбуждение/пропускание 515–560/580 нм). Зимой 2014 г. в ходе экспедиции научного студенческого отряда кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ на семи озерах были определены высотные отметки уровня ледяного покрова и воды, по топографической карте определены границы водосборных бассейнов и вычислены их площади (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика некоторых исследованных водоемов, координаты точек измерений, толщина льда и отметки уровня льда и воды в начале февраля 2014 г.

Водоем	Характеристики водоема и его водосборного бассейна			Координаты точки измерений		Толщина льда, м	Отметки по балтийской системе 1977 г.	
	Площадь озера, кв.м	Площадь водосбора, кв.м	Удельный водосбор	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)		Отметка уровня льда, м	Отметка уровня воды, м
Оз. Кисло-Сладкое	16200	157500	9,72	66°32'54"	33°08'05"	0,41	0,4228	0,0128
Лагуна на Зеленом мысу	12840	92500	7,20	66°31'49"	33°05'42"	0,38	-0,0529	-0,4329
Оз. Маленькое на Зеленом мысу	1540	—	—	66°31'44"	33°05'55"	0,43	1,6826	1,2526
Оз. Нижнее Ершовское вместе с Верхним Ершовским		3254500	40,18					
Нижнее Ершовское	81000	1225500	15,13	66°32'16"	33°03'30"	0,4	1,2323	0,8323
Оз. Трехцветное	32500	644000	19,82	66°35'31"	32°58'40"	0,4	1,2581	0,8581

Результаты и обсуждение

В общей сложности мы теперь располагаем сведениями о 15 водоемах на разных стадиях отделения от моря, включая двенадцать меромиктических водоемов, две лагуны с зачатками стратификации и два залива с совсем еще неизменным приливным режимом, а также Бабье море. Кроме них еще четыре прибрежных водоема при натурном обследовании оказались пресными, совершенно утратившими связь с морем. В данной работе приведены описания 10 водоемов, наиболее характерных для этой категории (рис. 1).



Рис. 1. Обследованные реликтовые водоемы в Кандалакшском заливе Белого моря. Водоемы, описанные в данной работе: 1 — оз. Б. Хрусломены, 2 — оз. Трехцветное, 3 — оз. Нижнее Ершовское, 4 — оз. Кисло-Сладкое (Полупресная лагуна), 5 — лагуна на Зеленом мысу, 6 — оз. Еловое, 7 — лагуна в Чупинских шхерах, 8 — губа Глубокая, 9 — оз. «Вонючка» на о. Тонисоар, 10 — оз. Меролабина. Другие водоемы на разных стадиях отделения от моря: 11 — оз. Лесное возле п. Ковда, 12 — Бабье море, 13 — Еремеевская губа, 14 — кут губы Кислой, 15 — кривая лагуна возле п. Лувеньга, 16 и 17 — лагуны на о. Телячьем.

Оз. Кисло-Сладкое (Полупресная лагуна) находится в 1,5 км к востоку от Беломорской биостанции МГУ (цв. ил. 1). Координаты: 66°32'54" N, 33°08'05" E. Длина озера — 196 м; ширина — 147 м; площадь — 16200 м²; площадь водосборного бассейна 157000 м²; соотношение площади бассейна к площади озера — 9,7; средняя глубина — 1–1,5 м, максимальная — 4,5 м. Абсолютная отметка поверхности льда в начале февраля 2014 г. — 0,4 м, водной поверхности — 0,01 м. Регулярных приливных колебаний в озере нет.

Озеро образовалось в результате отделения морского залива, отгороженного от основной акватории островом с двумя каменистыми отмелями по сторонам (цв. ил. 2). Одна из отмелей из-за подъема суши поднялась над поверхностью воды и превратилась в сухую перемычку, в настоящее время покрытую травянистой растительностью. Вторая перемычка представляет собой каменистый порог, через который большую часть времени течение направлено из озера в море, и лишь во время сизигийных приливов и высоких нагонов морская вода поступает в озеро (цв. ил. 3). Пополнение озера пресной водой осуществляется преимущественно во время таяния снега, а дебит стока пресного ручья в летнее время не превышает 1,5 м³ сут.⁻¹.

Вертикальная структура этого водоема испытывает сезонные и межгодовые изменения. В летние сезоны 2001 и 2002 гг., когда этот водоем впервые изучали подробно (Шапоренко, 2003), он имел трехслойную структуру (рис. 2).

Верхний слой толщиной 1 м, соответствующий эпилимниону континентальных водоемов, опреснен; в момент обследования его соленость составляла 13‰. В гипolimнионе выделяется два слоя: 1) верхний до глубины 3,2–3,75 м насыщен кислородом, а его температура выше, по сравнению с поверхностным и нижележащим слоями; 2) донное углубление заполнено холодной соленой водой, в которой отсутствует кислород и зарегистрировано высокое содержание сульфидов и гидросульфидов. Между этими основными слоями располагались узкие, толщиной менее 0,5 м, переходные зоны с резкими градиентами физико-химических параметров. Переходный слой между опресненной и соленой водной массами С.И. Шапоренко определил как металимнион. Такая же структура наблюдалась в этом озере и в последующие годы, и она оказалась типичной для водоемов, отделяющихся от моря.

Ветровое перемешивание, опреснение от небольшого вытекающего из болота ручья и от осадков сказываются только на верхнем метре глубины. Поверхностный слой играет определяющую роль в гидрологической структуре водоема: он изолирует нижележащий соленый слой воды от контакта с атмосферой. Поскольку вода в озере прозрачная, солнечные лучи хорошо прогревают дно и придонную воду, но разность в плотности слоев препятствует теплообмену с атмосферой, что создает эффект парника и в летнее время приводит к температурной инверсии. Поверхностный слой задерживает не только тепло, но и кислород, который образуется в ходе фотосинтеза в соленой водной массе. В результате кислород в ней накаплива-

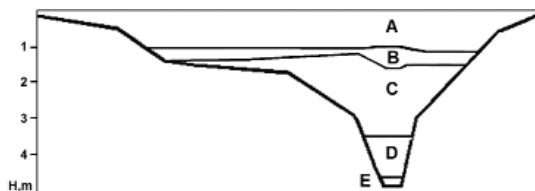


Рис. 2. Схема вертикальной стратификации вод Кисло-Сладкого озера по Шапоренко (2003). А — эпилимнион, В — металимнион с резкими вертикальными градиентами, С — верхняя аэробная часть гипolimниона, D — переходный слой между слоями с аэробным и анаэробной зонами, E — придонная вода впадин.

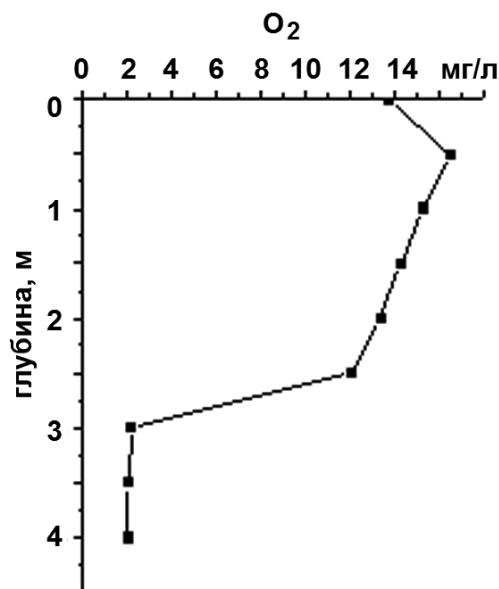


Рис. 3. Содержание кислорода в оз. Кисло-Сладком 26 июля 2013 г. Наибольшее значение концентрации растворенного кислорода 14,5 мг/л соответствует 165% насыщения.



Рис. 4. Вертикальные профили температуры и солености в оз. Кисло-Сладком в июле 2011 г. На профиле солености видно, что ко дну она возрастает. В море в это время соленость около 26‰.

ется, концентрация его может превышать 100% насыщения (рис. 3) и даже достигать значений 200–300% (Шапоренко, 2003).

В летнее время в оз. Кисло-Сладком на границе соленого аэробного и соленого анаэробного слоев воды (в редокс-зоне) может возникать слой воды красного цвета, который обусловлен массовым развитием криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp., идентичной штамму, выделенному из моря Бофорта (Краснова и др., 2013в, 2014) и отличающийся от ближайших к нему видов *R. abbreviata* и *R. salina* по последовательности 18S р-РНК.

В нижнем слое воды температура даже летом не превышает 11 °С, хотя в вышележащих слоях озера и на поверхности моря она прогревается до 18–20 °С и выше. Прогреву препятствует не только резкая плотностная стратификация, но и развитие перехватывающих лучистую энергию микроорганизмов в области хемоклина. Измерения освещенности под водой показали, что ниже красного криптофитового слоя солнечные лучи не проникают, там царит мрак. Соленость в нижней водной массе нередко оказывается более высокой по сравнению с вышележащей частью гипolimниона и с морем (рис. 4). 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, что имеет место в некоторых водоемах в высоких арктических широтах (Dugan, Lamoureux, 2011) и служит причиной повышения солености воды в двух других беломорских водоемах: лагуне на Зеленом мысу и в озере «Вонючка» на о. Тонисоар (Краснова и др., 2013 а,б).

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. Это наблюдалось в зимы 2011/12, 2013/14 и 2015/2016 гг. (Краснова и др., 2013 г; Краснова и др., 2015). После такой промывки характерная вертикальная структура восстанавливается не сразу. Поверхностный опресненный слой возникает вскоре после схода льда, а нижний сероводородный формируется следующим летом, достигая максимального развития к осени, когда его верхняя его граница приподнимается на 0,5–1 м от дна до глубины 4–3,5 м, и концентрация сероводорода достигает наибольших значений (Losyuk et al., 2015). Другой сценарий зимних событий развивается при слабой осенней промывке или ее отсутствии: при ледоставе водоем по всей толще сохраняет положительную температуру, сероводород распространяется до глубины 0,5–1 м, и в озере происходит замор. Мы наблюдали это зимой 2012/13 гг. В этом случае после схода льда вертикальная структура озера сразу обретает типовые черты с большой стартовой мощностью сероводородного слоя, который заполняет донное углубление до глубины 3 м и остается на этом уровне в течение всего лета (рис. 5 и 6).

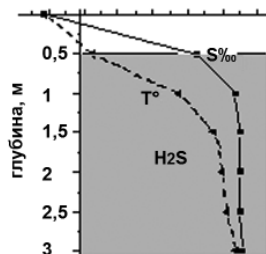
В эпилимнионе соленость воды претерпевает закономерные циклические колебания, связанные с опреснением в результате образования льда и таянием снега. Поэтому наименьшие значения солености наблюдаются в июне (7–9‰), по мере стекания опресненной воды в течение лета она постепенно нарастает и осенью достигает тех же значений, что в море.

Таким образом, основной ход сезонных изменений в оз. Кисло-Сладком связан с: 1) опреснением поверхностного слоя воды в ходе таяния льда и снега, 2) постепенным повышением его солености в течение лета за счет стекания опресненной воды из озера в море и пополнения водоема морской водой во время сизигийных приливов, 3) вероятностью поступления большого количества холодной морской воды во время высоких осенних приливов и нагонов, что в последние шесть лет наблюдений происходило с двухгодичной периодичностью. Если осенние забросы воды из моря незначительны, расслоение сохраняется на протяжении всей зимы, и водоем остается в меромиктическом состоянии.

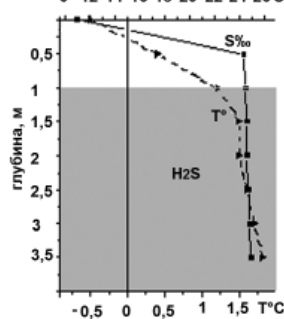
Слой воды, зараженный сероводородом, испытывает не только закономерные годовые колебания мощности, но и сезонные изменения содержания сероводорода (рис. 7). Наибольших значений концентрация сероводорода достигает осенью. В течение вегетационного сезона органические вещества, созданные в ходе фотосинтеза, поступают в придонную воду, и, по мере их накопления, складываются особенно благоприятные условия для сульфатредукции. Наименьшие значения зарегистрированы в марте 2012 г. после промывки озера морской водой. В зиму без промывки (2013 г.), или если она не затрагивает самый придонный слой воды (2014 г.), значения концентрации сероводорода оказываются промежуточными (2–8 мг/л); на этом же уровне они были в августе 2001 и 2002 гг.: 5,6–10,3 мг/л (Шапоренко, 2003).

Лед на этом озере становится раньше по сравнению с морем и сходит позже. 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 ледовый покров достигает во второй половине зимы: в оз. Кисло-Сладком — 40–50 см, в море — 60–70 см. Такая толщина достаточна, чтобы нарастить порог, полностью перекрыть путь мор-

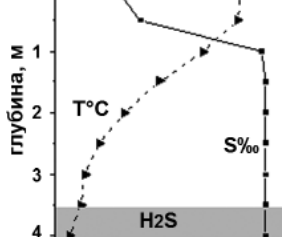
оз. Кисло-Сладкое, 03.01.13
12 14 16 18 20 22 24 26 S‰



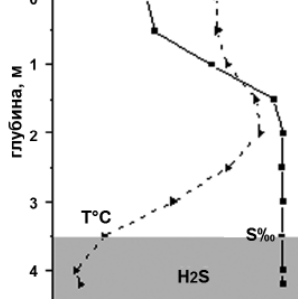
оз. Кисло-Сладкое, 17.01.13
0 12 14 16 18 20 22 24 26 S‰



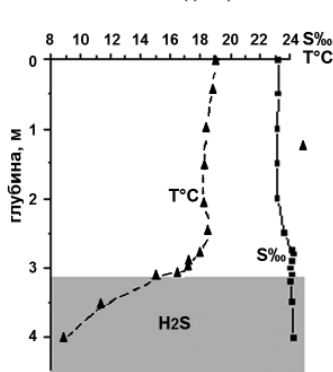
оз. Кисло-Сладкое, 03.06.13
4 8 12 16 20 22 S‰
T°C



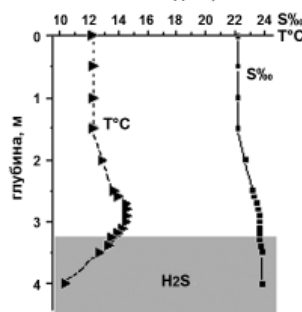
оз. Кисло-Сладкое, 23.07.13
6 10 14 18 22 26 S‰
T°C



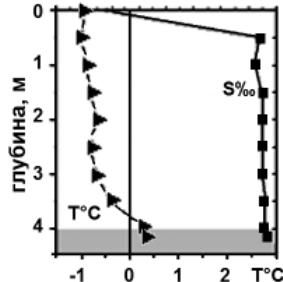
оз. Кисло-Сладкое, 13.08.13



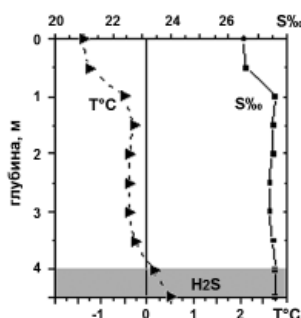
оз. Кисло-Сладкое, 20.09.13



оз. Кисло-Сладкое, 6.01.14
21 22 23 24 25 26 27 S‰



оз. Кисло-Сладкое, 03.02.14



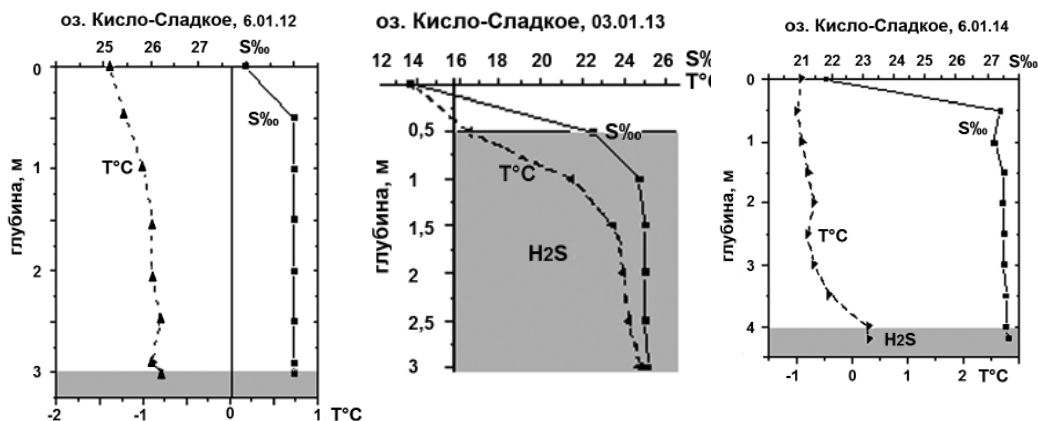


Рис. 6. Варианты вертикальной стратификации оз. Кисло-Сладкое в зимнее время. В 2012 и 2014 гг. перед ледоставом произошла промывка озера морской водой из-за экстремально высоких приливов.

ской воде и обеспечить сезонную изоляцию водоема. Однако вопрос о существовании периода полной зимней изоляции от моря пока открыт. В пользу сезонной изоляции в период максимального развития ледяного покрова свидетельствуют целостность ледового покрова на озере — на нем нет трещин, которые говорили бы о колебаниях уровня, торосов и признаков разлива воды. Без изоляции вряд ли были бы возможны стагнация и замор, наблюдавшиеся зимами 2012/13 и 2014/15 гг. Однако в некоторые зимы связь с морем, по всей вероятности, все же сохраняется. Возможно, с таким поступлением воды связаны загадочные фонтаны из соленой воды, зарегистрированные в начале февраля 2010 г., когда во льду озера возникло несколько промоин круглой формы, над которыми возвышались купола из воды, поступавшей под напором снизу, с такой же соленостью, как в озере и в море. За все годы наблюдений, такое явление было отмечено только один раз.

Лагуна на Зеленом мысу расположена у основания полуострова Зеленый мыс и связана с кутом губы Кислой (цв. ил. 4, 5). Координаты: 66°31'49" N, 33°05'55" E. Лагуна имеет округлую форму с шириной и длиной по 120 м, площадь бассейна составляет 92500 м², площадь озера — 12840 м², отношение данных величин равняется 7,2. Среди всех озер это наименьшее отношение. Средняя глубина озера — 2 м, максимальная — 6,5 м. Абсолютная отметка поверхности льда в начале февраля 2014 г. — -0,05 м, водной поверхности — -0,4 м (ниже соответствующих отметок моря). Озеро образовалось на месте древнего пролива, который некогда отделял от материка остров, ставший впоследствии полуостровом Зеленый мыс. Кроме этого озера, к юго-западу от него на месте пролива есть еще одно остаточное озеро (координаты: 66°31'45" N, 33°05'52" E) площадью 1541 м², поднятое над уровнем моря

Рис. 5. Годовой цикл изменений температуры и солености в оз. Кисло-Сладком в 2013–2014 гг. Вертикальные профили температуры и солености в разные сезоны, иллюстрирующие типичную годовую динамику.

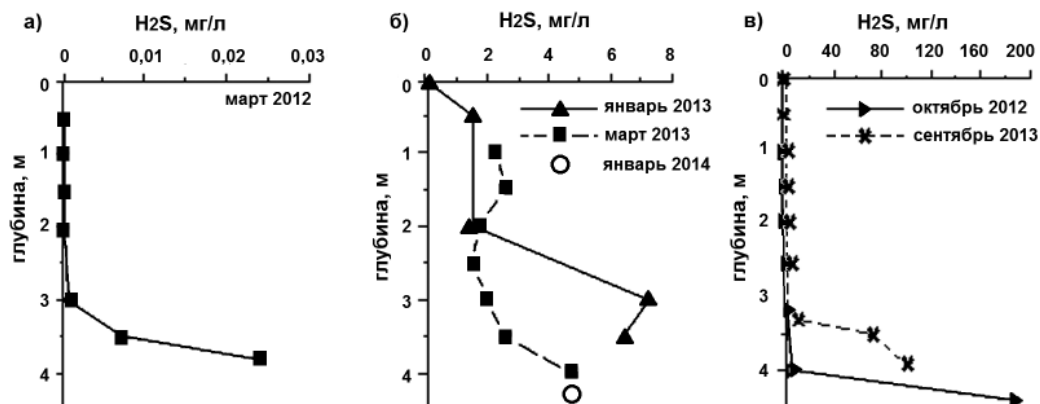


Рис. 7. Сезонная динамика содержания сероводорода в оз. Кисло-Сладком.

но и от большинства других беломорских отделяющихся водоемов. Кроме того, его соленость выше, чем на соседней морской акватории. Это обусловлено, во-первых, относительно небольшим водосборным бассейном, во-вторых — незначительностью пресноводного стока с берега (рис. 8), и, в-третьих, ледовым высаливанием при замерзании морской воды (Краснова и др., 2013а,б).

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. После интенсивной промывки осенью 2011 г. верхние 5 м стали однородными. Однако в котловину свежая вода не попала, так как заполняющая ее вода более соленая. В результате в марте 2012 г. возле дна находилась вода с соленостью более 29‰ и положительной температурой (Краснова и др., 2013г). После схода льда в водоеме возникает поверхностный опресненный слой, но степень его опреснения гораздо меньше, чем в других водоемах: за все три года наблюдений они никогда не опускалась ниже 22‰. Несмотря на относительно небольшие, казалось бы, различия в плотности, поверхностный слой, так же как в оз. Кисло-Сладком, служит тепловым изолятором для нижележащего соленого слоя, в результате чего в теплое время года возникает парниковый эффект. Во второй половине лета он проявляется в повышении температуры на глубине 2–3,5 м. 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 °С. Осенью 2012 г. промывки водоема не было, и всю следующую зиму водоем оставался трехслойным с опресненной поверхностной водной массой, охлаждением за счет турбулентного теплообмена с атмосферой до глубины 1–2,5 м и теплой придонной водой, которая оставалась прогретой до +3 – +4,6 °С.

После схода льда вертикальная термохалинная структура водоема одинакова вне зависимости от осенних и зимних событий. Однако гидрохимическая структура различна, прежде всего, за счет распространения сероводорода. После промывки водоема, например в июне 2012 г., сероводород присутствовал только возле самого дна и в течение сезона постепенно поднимался вверх. В год без промывки зимой сероводородное заражение наблюдалось уже с глубины 3,5–4 м и сохранялось

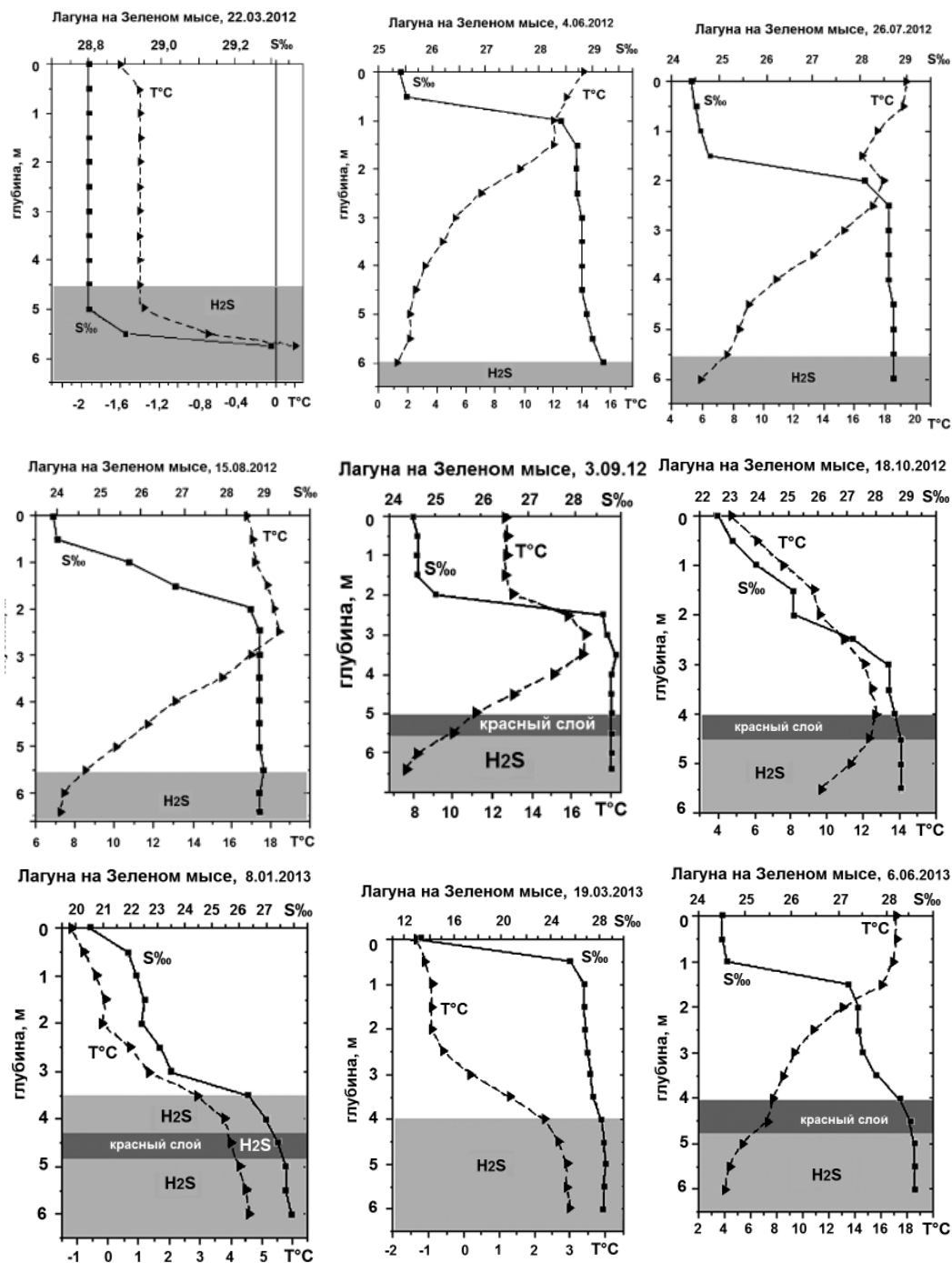


Рис. 8. Годовой цикл температуры и солёности в лагуне на Зеленом мысе.

всю зиму, а после схода льда в июне 2013 г. сероводород присутствовал от дна до глубины 5 м. (2013 г.).

На высокое содержание сероводорода в этом водоеме обратили внимание уже при первом его исследовании. С.И. Шапоренко с соавторами в летнее время в 2001–2002 гг. зарегистрировали в его придонной воде повышенное содержание гидросульфидов и сульфидов. Если в оз. Кисло-Сладком оно составляло 10,3 мг/л, что тоже очень много, то в лагуне на Зеленом мысу — 60 мг/л, что соответствует 90 мг/л сероводорода, определенного титрованием. Эта величина на порядок больше, чем в анаэробной толще Черного моря. Различия в содержании сероводорода авторы исследования отнесли на счет массового развития нитчатых водорослей в лагуне, которые, отмирая, скапливаются на дне и служат субстратом для окисления бактериями-сульфатредукторами. После осенней промывки водоема при высоких осенних приливах 2011 г., в марте 2012 г. содержание сероводорода оказалось значительно меньше, и даже в придонной воде оно не превышало 0,2 мг/л (Кокрятская и др., 2013). Следующей осенью, в октябре 2012 г. его содержание в придонных слоях возросло до 12,6 мг/л на глубине 5 м и 28,7 мг/л в придонных водах (5,5 м), что лишь вдвое меньше зарегистрированного максимума. После периода годовой стагнации к осени 2013 г. содержание сероводорода в придонном слое воды вернулось к тому же уровню. В целом, для лагуны на Зеленом мысу, так же как и для оз. Кисло-Сладкого характерно увеличение придонных концентраций в течение вегетационного сезона года с достижением максимальных значений осенью (рис. 9).

Лагуна на Зеленом мысу — еще один водоем, в котором зарегистрирован феномен красного слоя воды, образованного массовым развитием криптофитовых водорослей *Rhodomonas* sp. (Краснова и др., 2014). Он появляется не каждый год и развивается при продолжительной стагнации. После осенней промывки 2011 г. этот слой возник только на следующую осень в сентябре 2012 г., а в год без промывки появился сразу после схода льда и сохранялся в течение всего лета до следующей промывки. В зимнее время (январь 2013 г.) красноватый оттенок воде придают не водоросли, а бактерии. Ниже красного слоя может появляться слой воды зеленовато-бурого

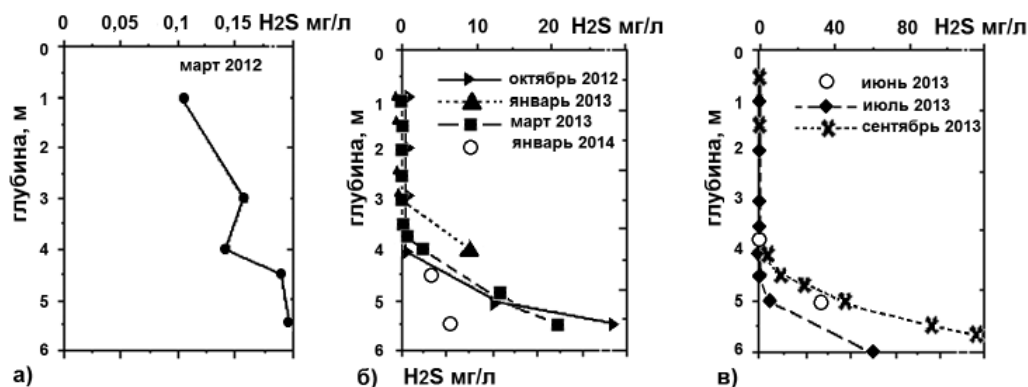


Рис. 9. Содержание сероводорода и его распределение по вертикали в водах лагуны Зелёного мыса.

цвета, обусловленный развитием анаэробных коричневоокрашенных зеленых серобактерий (Харчева и др., 2013; Краснова и др., 2014; Krasnova et al., 2015).

Трехцветное озеро в Пеккелинской губе. Координаты: 66°35,53' N, 32°59,97' E (цв. ил. 7, 8). Размеры водоема: 340 × 150 м, наибольшая глубина 7,5 м. Абсолютная отметка льда в феврале 2014 г. — 1,25 м, а поверхности воды — 0,85 м. Площадь водосбора — 643809 м², площадь самого озера — 32407 м², соотношение площади бассейна к площади озера 19,9. Приливных колебаний нет. Название «Трехцветное» этому озеру, прежде безымянному, мы дали за впечатляющие различия в окраске трех его слоев (цв. ил. 9). Верхний пресный слой — желтоватый из-за гуминовых веществ, поступающих со стоком из болота, под ним располагается соленая вода, причем в области хемоклина на границе аэробной и анаэробной зон всегда присутствует ярко-зеленый слой воды, а ниже него залегает сероводородная соленая водная масса лимонно-желтого цвета, мутноватая из-за кристаллов серы. При подъеме на поверхность желтой придонной воды в ней быстро и во множестве образуются пузырьки газа. Зеленый цвет — результат массового развития зеленых серобактерий (Харчева и др., 2013; Krasnova et al., 2015).

Из всех известных нам водоемов, отделяющихся от моря, оз. Трехцветное лучше всех отвечает понятию меромиктического. Вертикальная стратификация сохраняется постоянной в течение года (рис. 10) и была одинаковой на протяжении трех лет наблюдений (рис. 11).

Пресный миксолимнион располагается до глубины 1 м, застойная соленая водная масса (монимолимнион) начинается с глубины 1,5 м, а между ними находится узкий пикноклин с резкими физико-химическими градиентами. Слой зеленой воды мощностью 15–20 см располагается непосредственно под хемоклином. В межень он приходится на зону 1,5–1,75 м, осенью, когда за счет осадков миксолимнион становится толще — на 1,8–1,9 м.

Наши наблюдения ограничиваются четырьмя годами, но по сведениям от туристов, которые становятся лагерем на берегу Трехцветного озера около 20 лет и берут в нем воду для питья, возле поверхности она все это время была пресной. В ноябре 2011 г. во все прибрежные водоемы, в том числе в оз. Трехцветное, высокий сизигийный прилив, совпавший с ветровым нагоном, забросил свежую морскую воду. Если в другие водоемы, не столь далеко продвинувшиеся по пути отделения от моря, соленая вода попадает с разной периодичностью, то для оз. Трехцветного это событие уникальное. В результате мощность миксолимниона уменьшилась с 1,5 до 1 м (рис. 12), он стал солоноватым (5‰), на глубине от 1,5 до 3,5 м соленость возросла на 4–10 единиц (Краснова и др., 2013 г). Ниже глубины 4 м термохалинный режим не изменился. Таким образом, меромиктическая структура оказалась достаточно устойчивой к возмущениям такого рода. Интересно, что поступление пресной воды в это озеро со стоком оказалось недостаточным, чтобы быстро промыть миксолимнион и вернуть его к исходному пресному состоянию. За лето 2012 г. его соленость уменьшилась с 5‰ до 1,6–1,7‰, к 2013 г. — до 1,1‰, в 2014 г. она составляла 0,3‰, в 2015 г. — 0,1‰.

Благодаря меромиктической структуре, поступлению достаточного количества органических веществ и наличию сульфатов в придонной водной массе, в ней в больших количествах образуется сероводород. Среди водоемов, где определяли его концентрацию, оз. Трехцветное по этому параметру выходит в число мировых лидеров. В качестве природных эталонов с анаэробными условиями обычно приводят Черное море, где содержание сероводорода достигает 9,6 мг/л (Неклюдов и

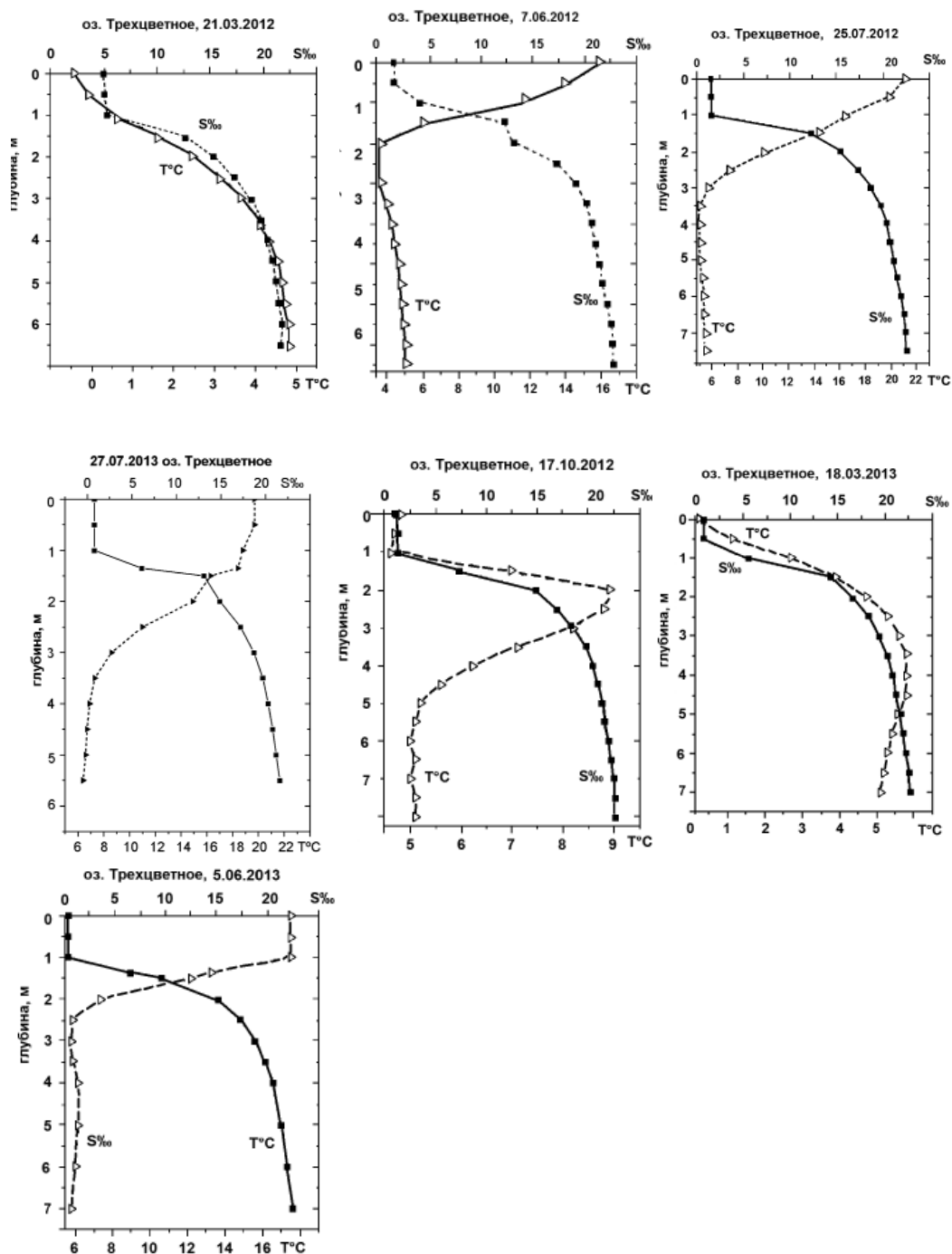


Рис. 10. Годовой цикл температуры и солености в оз. Трехцветном.

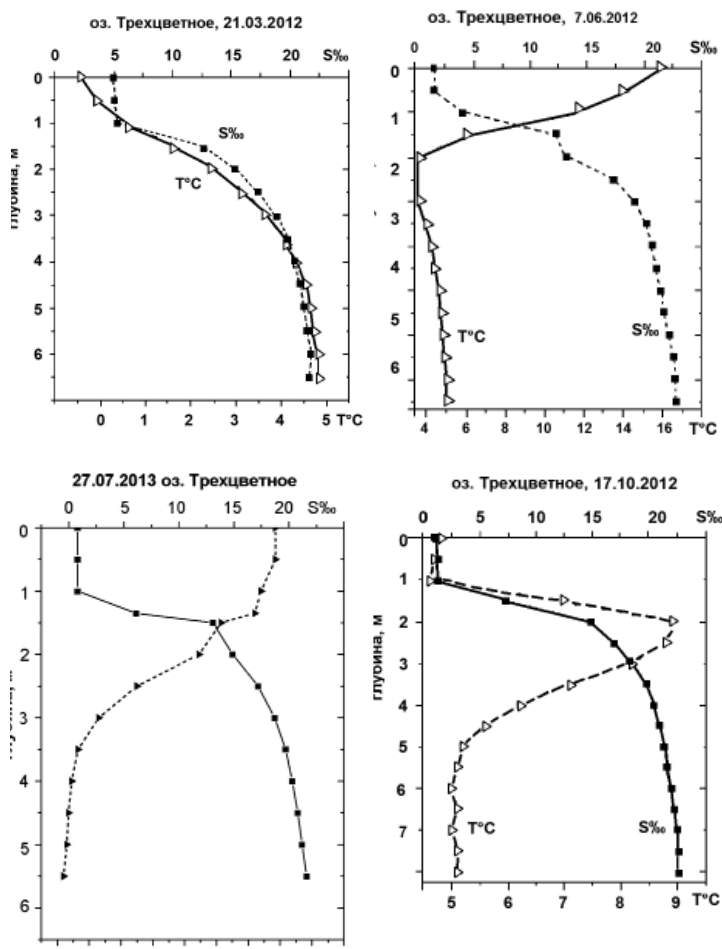


Рис. 11. Вертикальные профили температуры и солёности в оз. Трехцветном в июле 2010–2013 гг.

др., 2006), или норвежский фьорд Фрамаварен, который в этом отношении считается лидером среди открытых водоемов, где в придонных водах концентрация H_2S в 25 раз превышает черноморскую и доходит до 6 мМ/л (Millero, 1991; Behnke et al., 2006), что соответствует 204 мг/л. В монимолимнионе оз. Трехцветного содержание сероводорода может вдвое и втрое превышать эту величину (рис. 13).

Нижнее Ершовское озеро (цв. ил. 10). Координаты: 66°32'16" N, 33°03'30" E. Это нижнее из двух озер, образовавшихся на месте древнего пролива, соединенное протокой с пресным Верхним Ершовским озером, из которого получает пресную воду. Абсолютная отметка уровня льда в январе 2014 г. — 1,2 м, уровня воды — 0,8 м. Длина озера 550 м, ширина 250 м, максимальная глубина — 2,5 м. Площадь бассейна составляет 3254500 м² (с учетом водосбора Верхнего Ершовского озера — 2029000 м²), площадь озера — 81025 м², отношение данных величин равняется 40,2 (15,2 без учета водосбора Верхнего Ершовского озера). От моря это озеро отделено каменистым барьером, по которому из него вытекает пресный ручей. Поступление небольшого количества воды из моря происходит не чаще, чем раз в год.

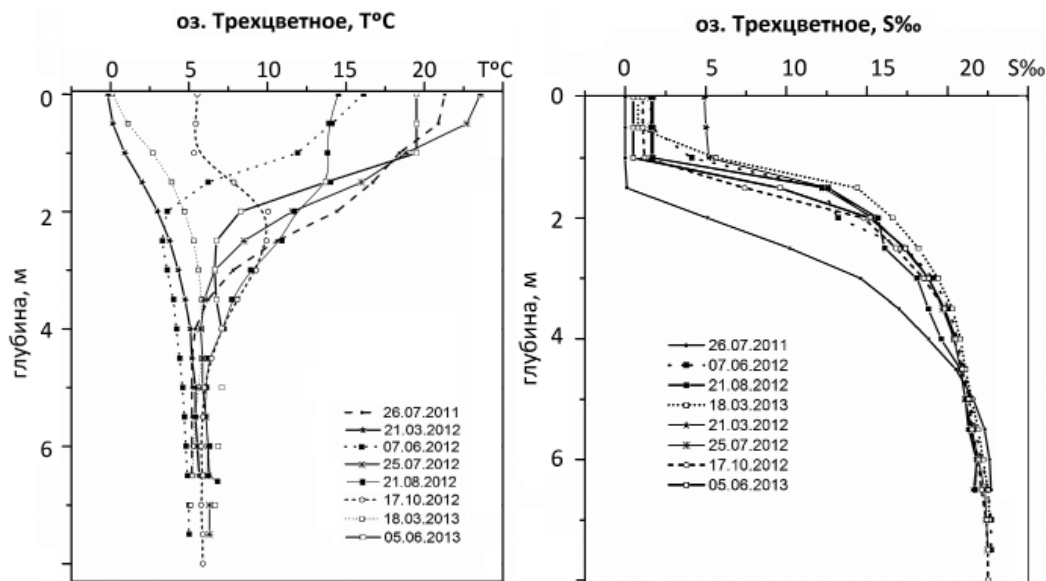


Рис. 12. Температура (А) и соленость (Б) воды в оз. Трехцветном.

Большая часть водной толщи почти пресная (0,1–0,7‰). Это озеро долгое время представлялось пресноводным, пока палеолимнологи из Ботанического института г. Росток (Германия) в 2000–2006 гг. не обнаружили в нем придонный слой соленой воды с соленостью до 10‰ (Dreßler et al., 2009). В период их работы уровень озера был 1,6 м; учитывая, что высота прилива может достигать 2,2 м, исследователи предположили, что во время сизигии, а также при штормах морская вода может поступать в это озеро.

Мы обнаружили, что в донном рельефе озера есть два углубления 2,3 и 2,8 м, разделенных мелководным барьером с глубиной 0,5 м. В начале наших наблюдений в июле и августе 2011 г. соленая вода (7,5–8,9‰) присутствовала только в ближней

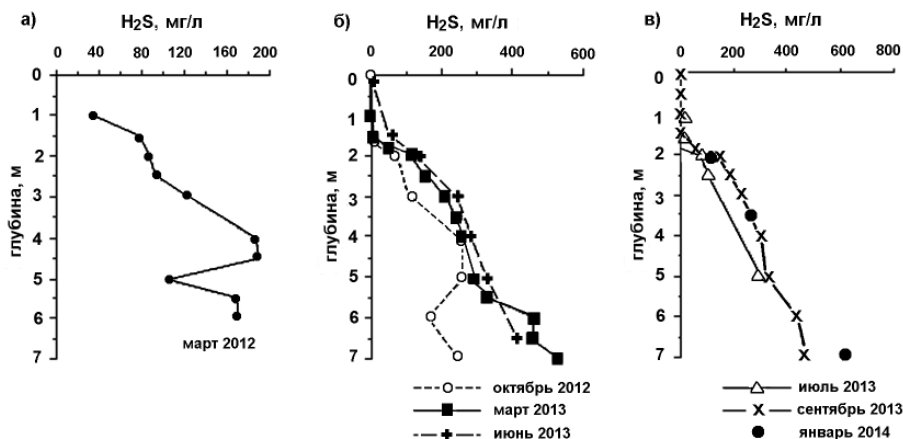


Рис. 13. Содержание сероводорода и его распределение по вертикали в водах оз. Трехцветного.

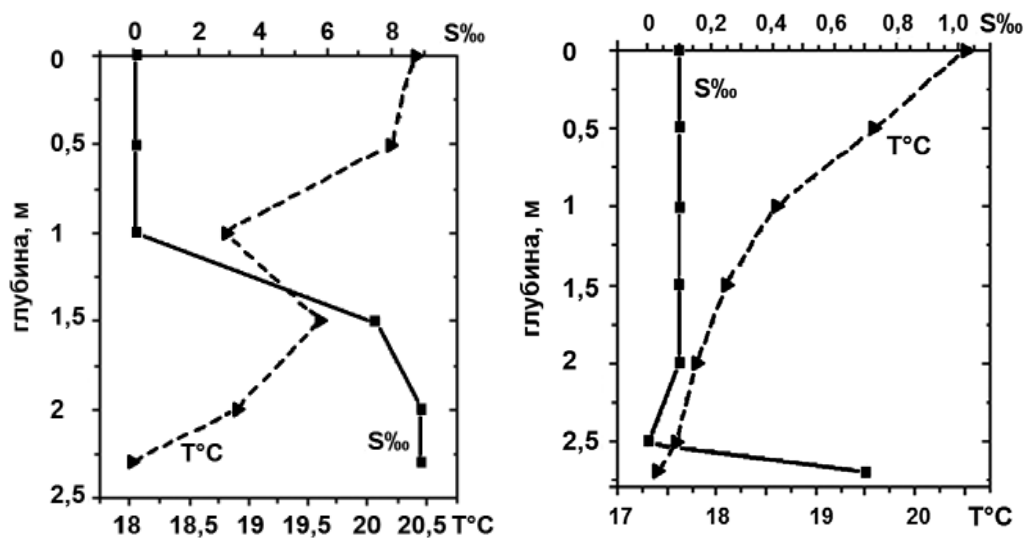


Рис. 14. Вертикальные профили температуры и солёности в оз. Нижнем Ершовском в начале наблюдений 1 августа 2011 г. (А — в ближней к морю яме; Б — в дальней яме).

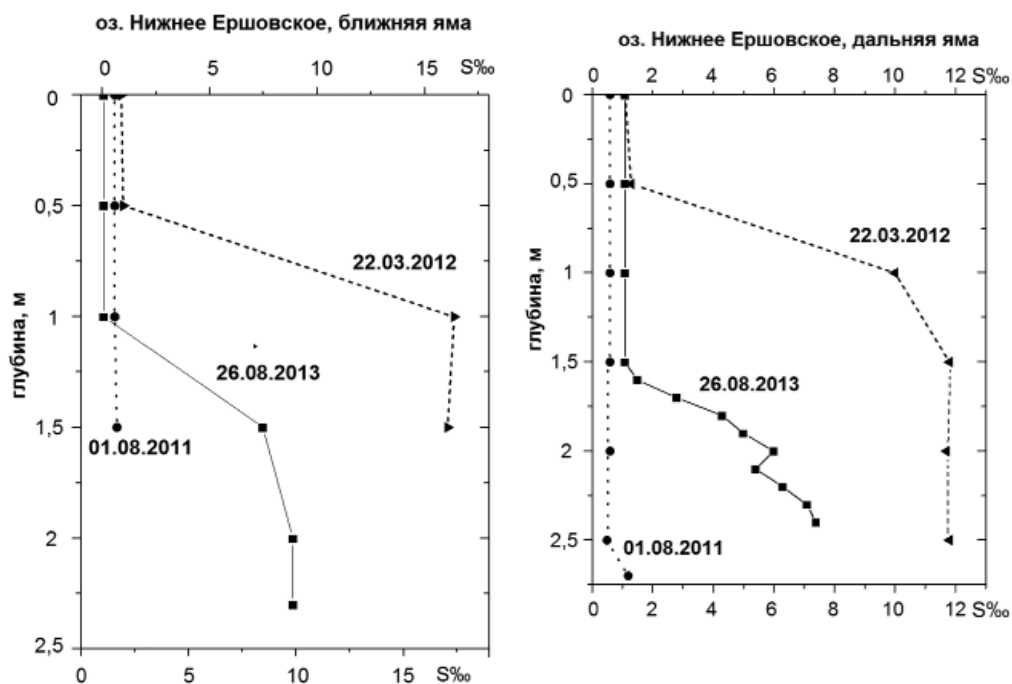


Рис. 15. Динамика солёности в оз. Нижнем Ершовском в результате заброса морской воды в ноябре 2011 г.: 1 августа 2011 г. — исходное состояние, 22 марта 2012 г. — после заброса морской воды, 26 августа 2013 г. — спустя почти два года. А — в ближней к морю яме; Б — в дальней яме.

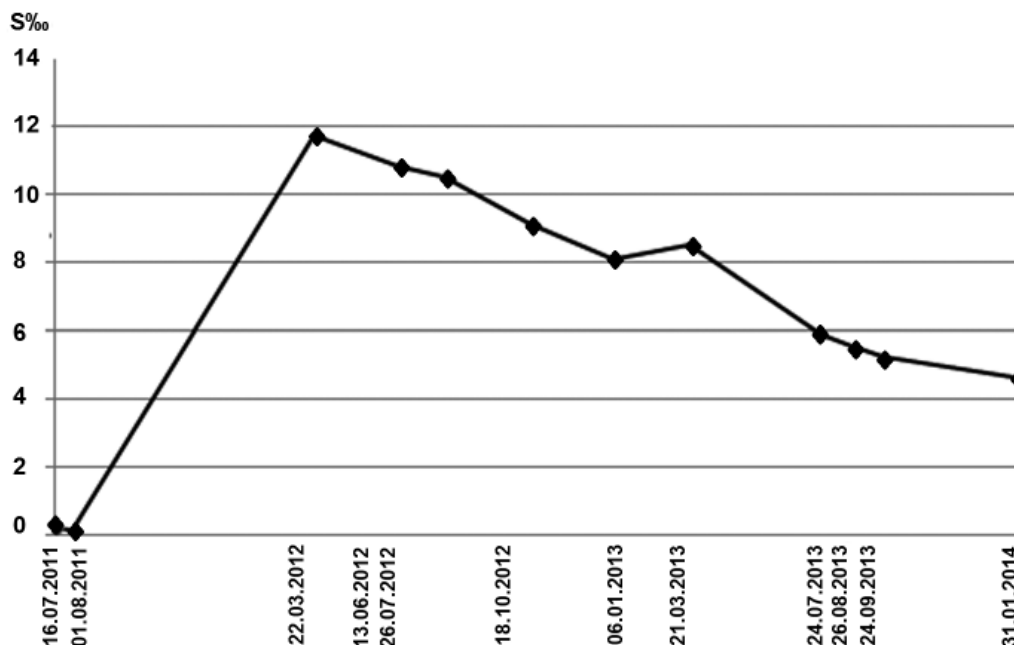


Рис. 16. Соленость воды в дальней яме оз. Нижнего Ершовского на глубине 2 м в 2011–2014 гг.

к морю яме, начиная с глубины 1,5 м (рис. 14). В дальней яме в это время придонная вода имела соленость 0,2–0,7‰.

В конце 2011 г. после штормового нагона, который забросил морскую воду и в это озеро, в его поверхностном слое соленость повысилась до 1,1‰, а соленая вода была найдена не только в ближнем углублении (15‰), но и в дальнем (11,8‰). В последующие два года поверхностный и придонный слои постепенно опреснялись, но стартового состояния не достигли даже к началу 2014 г. (рис. 15 и 16). Благодаря этому случаю мы теперь знаем, что забросы морской воды в оз. Нижнее Ершовское случаются не каждый год, а гидрологический режим этого озера таков, что возвращение к прежнему состоянию требует нескольких лет. Одновременное существование придонной солоноватой и поверхностной опресненной водных масс дает основания считать оз. Нижнее Ершовское меромиктическим.

Начиная с января 2013 г. в оз. Нижнем Ершовском появилась прослойка воды зеленого цвета, расположенная на границе аэробной и сероводородной водных масс, цвет которой обусловлен зелеными серобактериями (Kharcheva et al., 2014; Krasnova et al., 2015). Своим массовым развитием серобактерии обязаны сероводороду, который появился в придонном слое после поступления морской воды.

В соответствии с сезонной динамикой поступления и накопления органики в придонной водной массе, наибольшее содержание сероводорода в оз. Нижнем Ершовском наблюдается осенью (рис. 17). В период наблюдений самое высокое значение было зарегистрировано в сентябре 2013 г. — 187,6 мг/л. Вдвое меньше оно было в январе 2014 г. (88,6 мг/л).

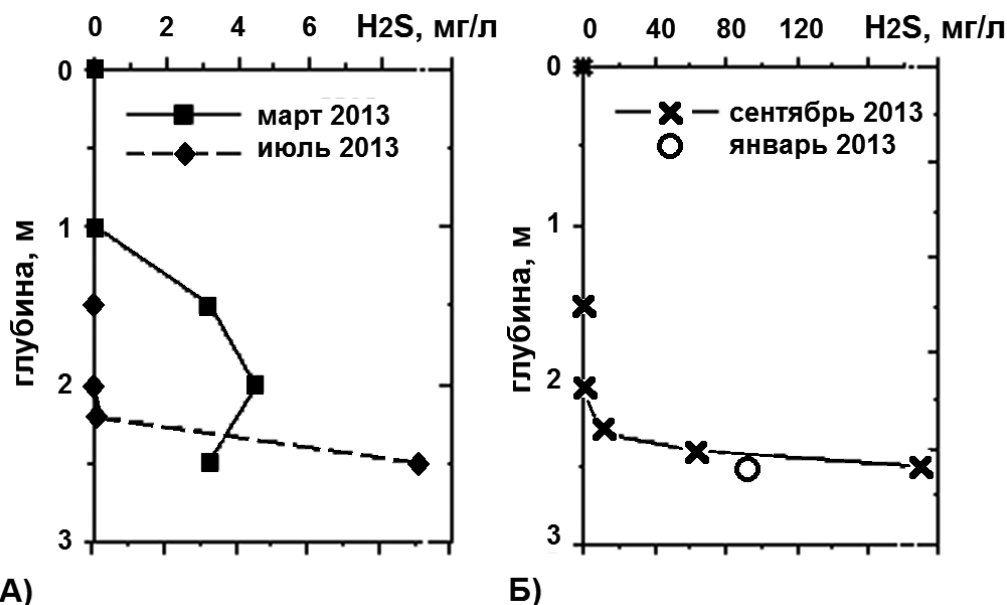


Рис. 17. Содержание сероводорода в оз. Нижнем Ершовском.

Озеро Еловое (Еловый Наволок) (цв. ил. 11, 12). Координаты: 66°28'53" N, 33°16'50" E. Длина озера 1000 м, ширина 400 м, максимальная глубина 5 м. Это нижнее из системы проточных озер, соединенных пресным ручьем (цв. ил. 13). Оно отделено от моря каменистым барьером, через который, в силу более высокого положения относительно уровня моря, из озера стекает пресная вода (цв. ил. 14). Приливных колебаний нет.

Озеро состоит из почти пресного поверхностного слоя (0,1–0,4‰) толщиной 0,5 м и соленой водной массы (16–25‰) в небольшой по площади яме глубиной 5,5 м. Эти слои сохраняются в течение всего года (рис. 18), в силу чего озеро может считаться меромиктическим.

В соленой водной массе на глубине 3–3,5 м находится хемоклин, выше которого условия аэробные, а ниже появляется сероводород. В области хемоклина находится слой воды бурого цвета с коричневоокрашенными зелеными серобактериями (Krasnova et al., 2015).

В ноябре 2011 г. в результате сильного повышения уровня моря в озеро проникло большое количество соленой воды, после чего соленость воды в яме возросла на 5 единиц. Однако, в отличие от оз. Нижнего Ершовского, в последующие три года вместо постепенного опреснения мы наблюдали постоянство профиля солености (Рис. 19).

Оз. Меролампина недалеко от о. Соностров. Координаты: 66°10'00" N, 34°11'00" E. Длина водоема 600 м, ширина 150 м, наибольшая глубина 8 м. Это проточное меромиктическое озеро с опресненной водой у поверхности и соленой водой ниже 1 м (рис. 20), нижнее в каскаде озер, соединенных пресным ручьем (цв. ил. 15). Влияние пресной воды, попадающей в Меролампину через протоку из вышележащего пресного озера, ограничивается верхним полуметровым слоем (цв. ил. 16). Опресненная вода, как менее плотная, стекает по поверхности озера в море, не

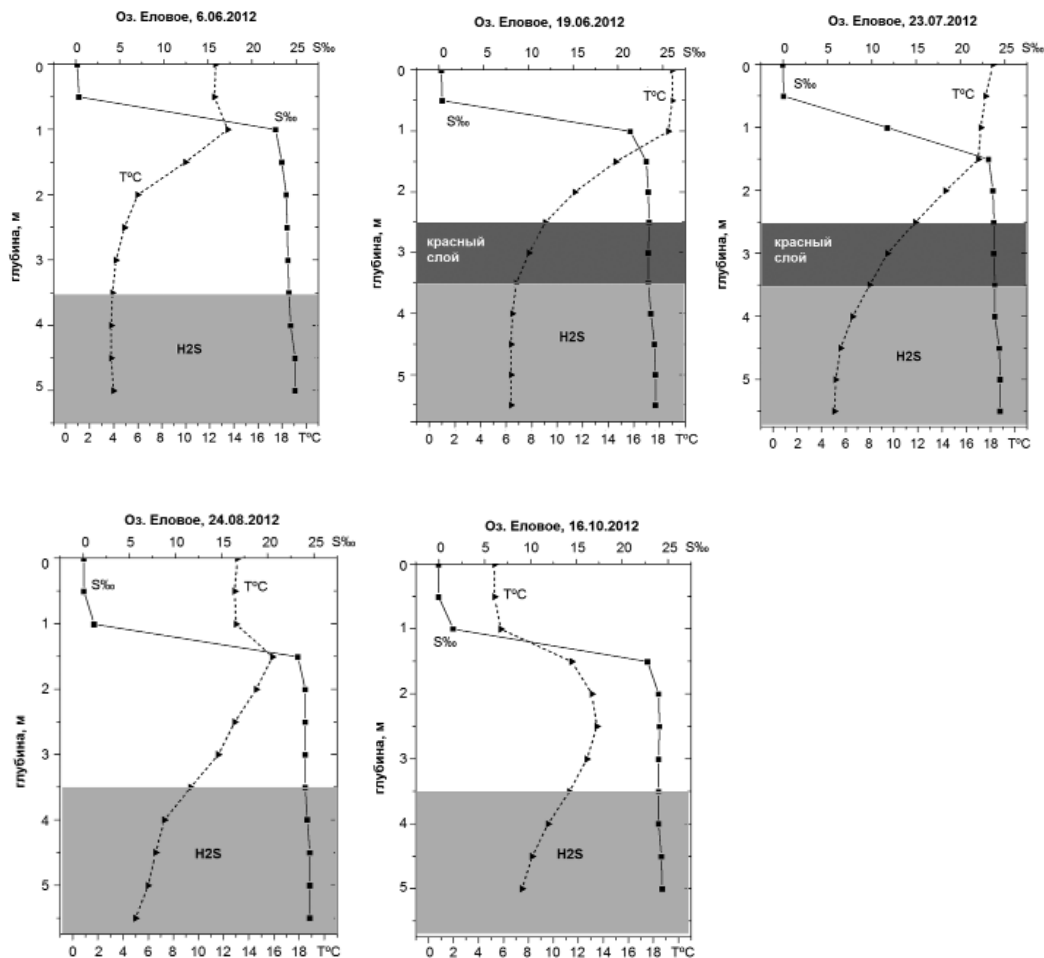


Рис. 18. Годовая динамика температуры и солёности в оз. Еловом.

перемешиваясь с основной водной толщей. Солёная вода, поступающая в озеро во время прилива, сразу опускается ко дну. Величина приливных колебаний 0,3–0,5 м.

У оз. Мероламбина интересная история. Несколько десятилетий назад по нему из расположенных выше озёр проходил путь лесосплава. Ссылные работники построили систему каналов и шлюзов, которая помогала регулировать уровень воды и количество пропускаемых бревен. От этой системы до наших дней сохранилась валунная плотина, в которую были встроены ворота шлюза, и выровненные берега ручья. Было ли озеро пресным или солёным в те годы, и как сказывалось на его свойствах периодическое повышение уровня за счёт накопления пресной воды, теперь не известно. О том, что озеро недавно и быстро отделилось от моря, свидетельствует ещё не заросшая кустарниками и древесным подростом литораль (цв. ил. 17).

Губа Глубокая возле Сонострова (цв. ил. 15, 18). Координаты: 66°10'00" N, 34°09'00" E. Солёная лагуна с ослабленными приливными явлениями и резкой

стратификацией в летнее время. Длина водоема 800 м, ширина 200 м, посередине озера под водой тянется борозда с наибольшей глубиной 8 м. В озеро впадает небольшой ручей, но его влияние на озеро мало. Через широкую, обсыхающую на отливе протоку водоем обменивается водой с морем. Высота приливных колебаний уровня около 1 м.

До глубины 4 м вода в озере равномерно перемешана (рис. 21), на 4,5–5,5 м находится пикноклин, под которым залегает донная водная масса с высокой соленостью и низкой температурой (летом). По вертикальной стратификации этот водоем напоминает лагуну на Зеленом мысу.

Оз. «Вонючка» на острове Тонисоар (цв. ил. 19). Координаты: 66°09'38" N, 34°13'37" E. Озеро расположено на острове Тонисоар, где находится производственная база по выращиванию мидии, и занимает большую часть его площади. Размеры: 500 × 400 м, максимальная глубина 9,5 м. Водоем представляет собой соленую лагуну, которая обменивается водой с морем через порог, обсыхающий во время малой воды. Поступление пресной воды, в силу островного положения, ограничено осадками и стоками из поселка. Амплитуда приливных колебаний — 0,3 м. В летнее время на поверхности водоема возникает цветение нитчатых зеленых водорослей, которые на литорали во время отлива образуют плотную сплавину (цв. ил. 20).

Перемешиванию под действием приливов и ветра подвергается 1–2 м воды (рис. 22), пикноклин толщиной 1 м приходится в разные годы на глубину 1–2 или 2–3 м, а ниже находится водная масса с соленостью более высокой, чем в прилегающей части моря. Это второй после лагуны на Зеленом мысу известный нам водоем,

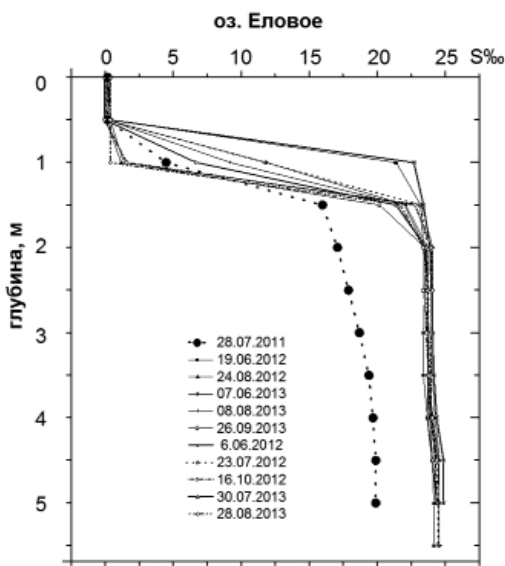


Рис. 19. Соленость воды в оз. Еловом на протяжении трех лет наблюдений. Выделяется профиль от 28 июля 2011 г. в стартовом состоянии озера до заброса морской воды осенью 2011 г.

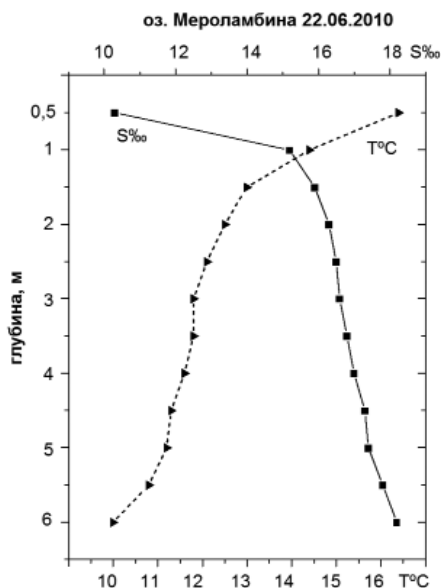


Рис. 20. Температура и соленость в оз. Мероламина в июне 2010 г.

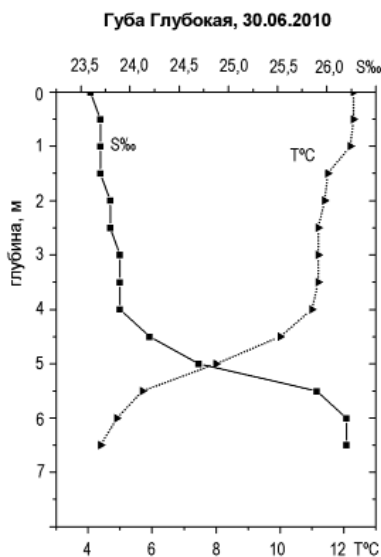


Рис. 21. Температура и соленость воды в губе Глубокой 30 июня 2010 г.

который эволюционирует по пути повышения солености.

Лагуна в Чупинской губе (цв. ил. 21). Координаты: 66°16'48" N, 33°15'49" E. На шхерном южном берегу Чупинской губы напротив дер. Пулонга на участке протяженностью 4 км можно найти заливы на любых стадиях отделения от моря: проливы, лагуны с одним поднявшимся и одним действующим выходом, затапливаемые марши и совсем уже вышедшие на сушу сухопутные луга. По направлению к морю заливы более открытые, ближе к поселку Чупа — более поднявшиеся. Данная лагуна размером 500 × 400 м и глубиной 5,5 м представляет собой «ковш», отгороженный от моря островом и двумя каменистыми порогами, которые тянутся от острова к матерiku, что роднит этот водоем с оз. Кисло-Сладким. Чупинская лагуна служит иллюстрацией

самой начала эволюции на пути отделения водоема от моря, когда водообмен еще осуществляется через оба порога, один из которых обсыхает на отливе, а во

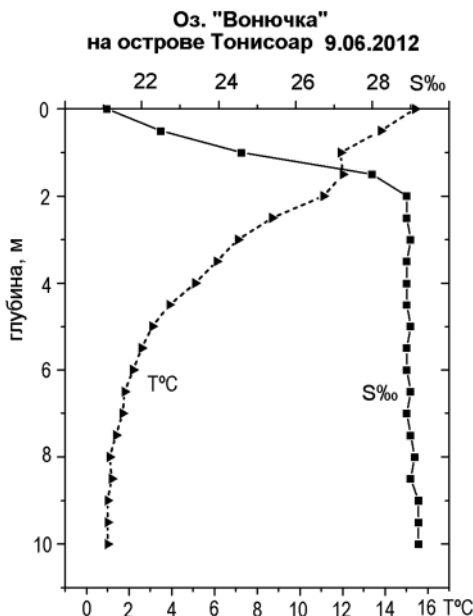
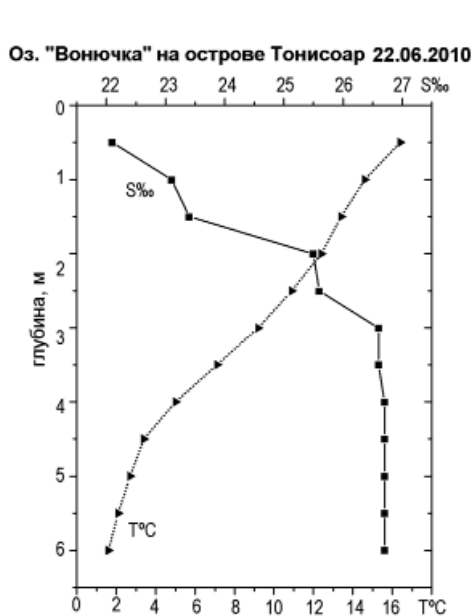


Рис. 22. Температура и соленость в оз. «Вонючка» на о. Тонисоар: А — в июне 2010 г. и Б — в июне 2012 г.

втором остается узкое водное русло. Приливные колебания в этом водоеме имеют примерно ту же амплитуду, что и в море, однако подводные преграды задают приливному циклу асимметрию — прилив длится намного дольше, чем отлив, а наличие донного углубления обуславливает уже выраженную стратификацию (рис. 23).

В этой лагуне летом зарегистрированы вертикальные градиенты солености и температуры, отличающие его от открытых акваторий. В летнее время поверхностный слой прогревается до глубины 0,5 м и опреснен по сравнению с нижележащей водной массой. В июле 2010 г. от поверхности ко дну температура опускалась на 4 °C, а соленость увеличивалась на 1,5 единицы.

Оз. Большие Хрусломены на острове Оленьем в губе Ковда (цв. ил. 22, 23). Координаты: 66°43' N, 32°51' E. Самый большой из найденных нами отделяющихся водоемов. Возможно, отделению его от моря способствовали люди, для целей рыбоводства укрепив валунную перемычку, отделяющую озеро от моря. Длина озера 1000 м, ширина в узком месте 280 м, у озера есть три залива длиной 300, 300 и 600 м. Наибольшая глубина 21 м. Через узкую протоку озеро со-

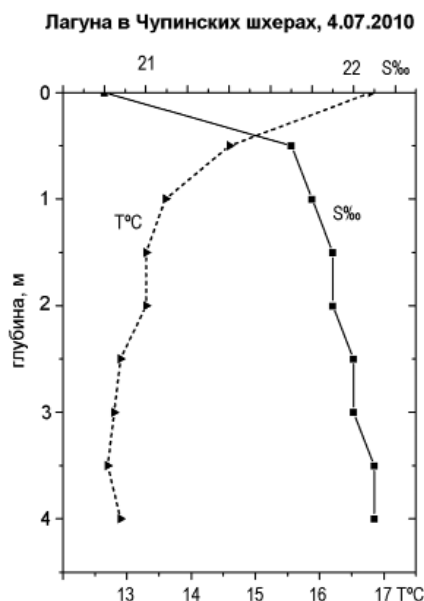


Рис. 23. Температура и соленость лагуны в Чупинских шхерах

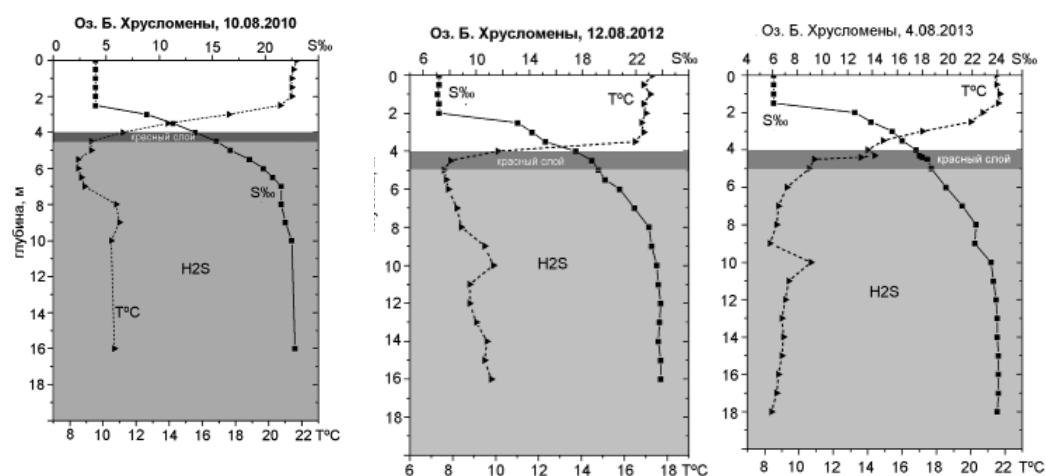


Рис. 24. Вертикальная структура оз. Б. Хрусломены.

общается с морем (цв. ил. 24). Во время прилива в озеро непродолжительное время поступает морская вода, но большую часть времени течение направлено из озера в море, и по ручью стекает опресненная вода. Приливные колебания около 0,2 м. Поверхностный слой воды до глубины 2 м опреснен до 4–7‰, под ним находится пикноклин, а основная толща с глубины 4 м соленая (рис. 24). Постоянство вертикальной структуры дает основания считать этот водоем меромиктическим.

На верхней границе соленого слоя при каждом обследовании, которое всегда приходилось на август, мы обнаруживали прослойку красного цвета толщиной 0,5–1 м, ниже которой всегда наблюдалась высокая концентрация сероводорода. Так же как в оз. Кисло-Сладком и лагуне на Зеленом мысу, красный цвет здесь обусловлен массовым развитием криптофитовых водорослей *Rhodomonas*.

Заключение

Описанные десять водоемов находятся на разных стадиях развития изоляции водоемов морского происхождения — от лагун с полной амплитудой приливных колебаний (лагуна в Чупинских шхерах) до стабильных меромиктических водоемов (оз. Трехцветное, оз. Еловое, оз. Нижнее Ершовское и оз. Б. Хрусломены). Главная черта, объединяющая описанные десять водоемов — устойчивая вертикальная стратификация, в предельном варианте стремящаяся к меромиксии. Нам представляется, что стадия меромиктического водоема — закономерный этап гидрологической эволюции морского залива при его отделении от моря.

По степени изоляции от моря, которая проявляется в ослаблении влияния моря исследованные водные объекты можно расположить в следующий ряд:

- Оз. Трехцветное
- Оз. Нижнее Ершовское
- Оз. Еловое
- Оз. Б.Хрусломены
- Оз. Мероламбина
- Оз. Кисло-Сладкое
- Лагуна на Зеленом мысу
- Оз. «Вонючка» на о. Тонисоар
- Губа Глубокая
- Лагуна в Чупинских шхерах

В одних водоемах единичные забросы морской воды приводят к заметным изменениям, которые сохраняются в течение нескольких лет, например, к повышению солености поверхностного слоя воды (оз. Трехцветное), или к появлению соленой воды в донных углублениях (оз. Нижнее Ершовское). В других озерах сложившееся динамическое равновесие между поступлением пресной воды со стоком и соленой с приливами не нарушается при подобных событиях (оз. Еловое). 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 и оз. «Вонючка» на о. Тонисоар). 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. Цветные слои воды в области редокс-зоны — один из индикаторов меромиктической стадии эволюции водоема, причем красные слои с цветением криптофитовых водорослей ука-

зывают на более ранние этапы развития водоема, а зеленые, с зелеными серобактериями — на более поздние этапы. Появление цветных слоев приводит к изменению режима освещенности в водоеме, поскольку сквозь них свет не проникает и вся нижележащая толща воды оказывается в темноте и, как следствие, к усилению вертикальной стратификации.

Определяя типовую гидрологическую структуру отделяющегося от моря водоема в терминах, применяемых к меромиктическим водоемам, мы выделяем миксолимнион — верхний, как правило, опресненный слой, и два слоя нижележащего соленого монимолимниона: верхний аэробный и анаэробный, заполняющий донные углубления. 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. Каждый слой служит биотопом для определенного экологического сообщества: опресненный — для сообщества с участием пресноводных и эвригалинных видов, в соленом аэробном — с морскими организмами, анаэробный — для тиобиоса, а редокс-зона — для сообщества, основанного на первичной продукции аноксигенного фотосинтеза (Саввичев и др., 2014). Дальнейшее изучение уже известных водоемов и дополнение этого ряда новыми объектами позволит определить закономерности гидрологической и экологической эволюции морских акваторий при их отделении от моря, построить сукцессионные ряды для каждого биотопа и подойти к прогнозированию последствий искусственной изоляции морских акваторий от моря, например, при строительстве приливных электростанций, дорожных дамб и мостов.

Благодарности

Авторы крайне признательны администрации Беломорской биостанции МГУ за возможность работать на этой прекрасно оснащенной полевой базе, и ее сотрудникам за помощь в полевых работах; сотруднику Института океанологии РАН Василию Альбертовичу Спиридонову за то, что вдохновил на работу по этой теме; руководителю Чупинского морского яхтклуба Юрию Николаевичу Рыбакову за сведения о новых водоемах и организацию экспедиции на яхте своего яхтклуба; студентам, аспирантам и руководству зимней экспедиции научного студенческого отряда кафедр гидрологии суши, картографии и геоинформатики, метеорологии и климатологии и 1-го курса географического факультета, студентов физического факультета МГУ на беломорскую биостанцию 26 января — 6 февраля 2014 г., в которой, несмотря на тридцатиградусные морозы и отказ электронных приборов, были получены новые и очень ценные сведения о беломорских отделяющихся водоемах и составлен их каталог, и, наконец, Вадиму Олеговичу Мокиевскому за любезное предложение поместить материалы этих исследований в данную монографию.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-05-00548-а).

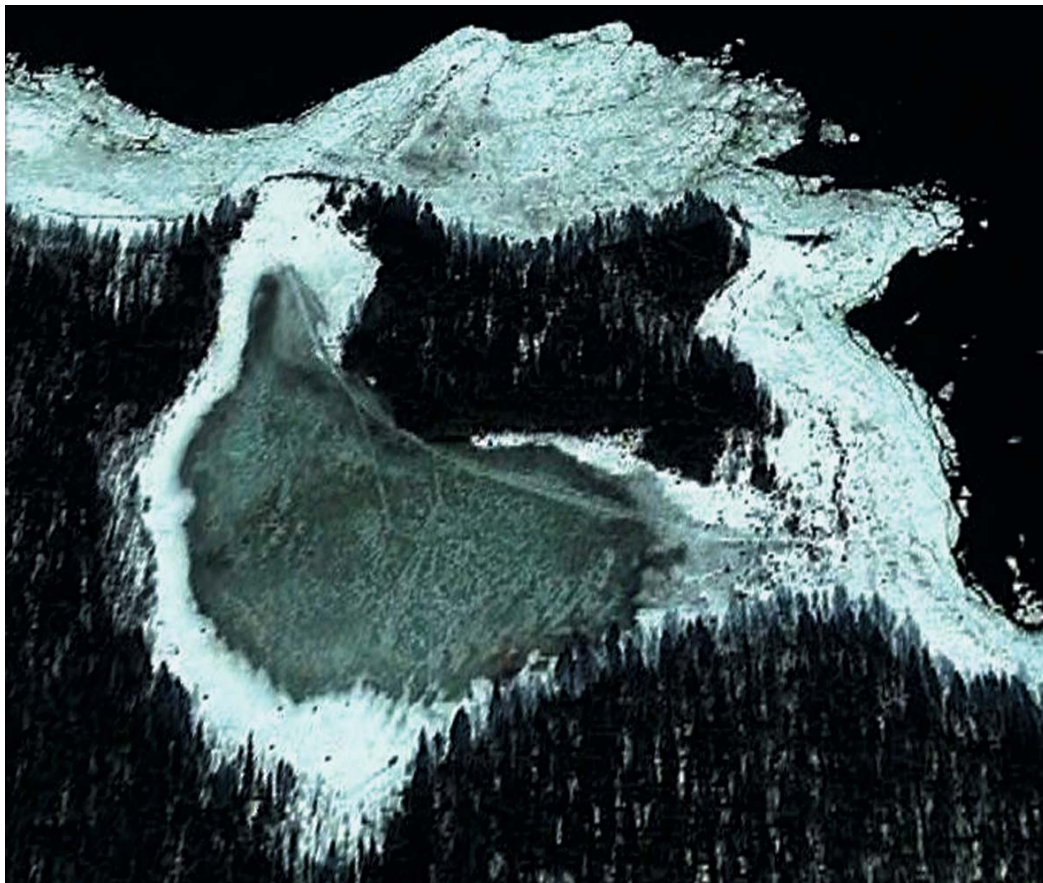
Литература

- Гурвич Г.С., Соколова Е.В. 1939. К познанию реликтовых водоемов Белого моря // Тр. ГГИ. Вып.8. № 15. С.142–161.
- Дерюгин К.М. 1925. Реликтовое озеро Могильное: (остров Кильдин в Баренцовом море): монограф. очерк. Л.: Главнаука. 112 с.

- Книпович Н.М. 1893. Несколько слов относительно фауны Долгой губы Соловецкого острова и физико-географических ее условий // Вестн. естествозн. С.1–2.
- Кокрятская Н.М., Краснова Е.Д., Титова К.В., Лосюк Г.Н. 2013. Формирование сероводородного заражения отшнуровывающихся от моря озер (Кандалакшский залив Белого моря) // Матер. науч. конф. «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). Тез. докл. М.: Т-во науч. изданий КМК. С.123–126.
- Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Г.Д. 2013а. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Изв. РАН. Серия географ. № 1. С.73–88.
- Колька В.В., Корсакова О.П. 2013. Перемещение береговой линии и палеогеография Белого моря в позднеледниковье и голоцене // Матер. науч. конф. «Морская биология, геология, океанология — междисциплинарные исследования на морских стационарах», посвященной 75-летию Беломорской биологической станции МГУ (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 27 февраля – 1 марта 2013 г.): Тез. докл. М.: Т-во науч. изданий КМК. С.126–131.
- Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б., Арсланов Х.А. 2012. Перемещение береговой линии Белого моря и гляциоизостатическое поднятие суши в голоцене // Докл. РАН. Т.442. № 2. С.263–267.
- Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б., Арсланов Х.А. 2013б. Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на Карельском берегу (район поселка Энгозеро, Северная Карелия) // Докл. РАН. Т.449. № 5. С.587–592.
- Краснова Е.Д. 2010. Лики соленых озер, или инвентаризация отделяющихся водоемов // <http://wsbs-msu.ru/doc/view.php?ID=179>
- Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Воронова А.Д. 2013а. Роль вымораживания рассола из морского льда в формировании вертикальной стратификации в водоемах, отделяющихся от Белого моря // Геология морей и океанов: Матер. XX Межд. науч. конф. (школы) по морской геологии. М.: ГЕОС. Т.3. С.201–205.
- Краснова Е.Д., Воронова А.Д., Воронов Д.А. 2013б. 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 Межд. конф. с элементами школы для молодых ученых и аспирантов. Сб. матер. Петрозаводск, Россия. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН. С.168–170.
- Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Мардашова М.В., Пантюлин А.Н., Фролова Н.Л. 2015. Многолетняя изменчивость физико-химических параметров в частично изолированной лагуне на Зеленом Мысу (Карельский берег Белого моря) // Сб. тез. IV межд. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование: MARESEDU-2015». С.451–454.
- Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Белевич Т.А., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Житина Л.С., Ильяш Л.В., Н.М. Кокрятская, О.Н. Лунина, М.В. Мардашова, А.А. Прудковский, А.С. Саввичев, А.С. Филиппов, В.П. Шевченко. 2013г. Комплексные исследования отделяющихся водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря в марте 2012 г. // Океанология. Т.53. № 5. С.714–717.
- Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н., Тодоренко Д.А., Белевич Т.А., Милютин И.А., Воронов Д.А. 2013в. Природа красных слоев в водоемах, отделяющихся от Белого моря // Матер. науч. конф. «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). Тез. докл. М.: Т-во науч. изд. КМК. С.151–156.
- Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н., Тодоренко Д.А., Белевич Т.А., Милютин И.А., Воронов Д.А. 2014. Цветение криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp.

- (Cryptophyta, Pyrenomonadaceae) в редокс зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря // Микробиология. Т.83. № 3. С.346–354.
- Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Воронов Д.А. 2013д. Инвентаризация отделяющихся от моря водоемов на Карельском берегу Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. XII Межд. конф. с элементами школы для молодых ученых и аспирантов. Сб. матер. Петрозаводск, Россия. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН. С 164–167.
- Ливанов Н.А. 1911. Фауна Глубокой (Долгой) губы Соловецкого острова // Прил. к протоколам заседаний о-ва естествоиспыт. при Казанск. ун-те. 268 с.
- Митяев М.В., Корсун С.А., Стрелков П.П., Матишов Г.Г. 2008. Древние береговые линии Восточного Кильдина // Докл. РАН. Т.423, № 4. С.546–550.
- Неклюдов И.М., Борц Б.В., Полевич О.В., Ткаченко В.И., Шиляев Б.А. 2006. Альтернативная сероводородная энергетика Черного моря. Состояние, проблемы и перспективы // Межд. науч. журн. “Альтернативная энергетика и экология”. № 12(44). С.23–30.
- Нинбург Е.А. 1990. Долгая губа: изоляция естественная и искусственная // Природа. № 7. С.44–49.
- Новиков Г.Г., Афанасьев К.И., Рубцова Г.А., Строганов А.Н. 2006. О некоторых генетических параметрах кильдинской трески *Gadus morhua kildinensis* (Gadidae, Gadiformes) // Вopr. ихтиол. Т.46. № 5. С.708–710.
- Пантюлин А.Н., Краснова Е.Д. 2011. Отделяющиеся водоемы Белого моря: новый объект для междисциплинарных исследований. 2011 // Геология морей и океанов: Матер. XIX Межд. науч. конф. (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС. Т.3. С.241–245.
- Реликтовое озеро Могильное. 1975. / Гуревич В.И., Цееб Р.Я. (ред.). Л.: Наука. 298 с.
- Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997–2000 гг.). 2002. Мурманск: Изд-во ПИН-РО. 164 с.
- Рогозин Д.Ю., Пименов Н.В., Косолапов Д.Б., Чаньковская Ю.В., Дегерменджи А.Г. 2005. Тонкослойное вертикальное распределение пурпурных серных бактерий в зонах хемоклина меромиктических озер Шира и Шунет (Хакасия) // Докл. РАН. Т.400. № 3. С.426–429.
- Романенко Ф.А., Шилова О.С. 2012. Последледниковое поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-болотных отложений п-ова Киндо // Докл. РАН. Т.442. № 4. С.544–548.
- Саввичев А.С., Лунина О.Н., Русанов И.И., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф., Иванов М.В. 2014. Микробиологические и изотопно-геохимические исследования озера кисло-сладкое — меромиктического водоема на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Микробиология. Т.83. № 2. С.191–203.
- Саввичев А.С., Русанов И.И., Рогозин Д.Ю., Захарова Е.Е., Лунина О.Н., Брянцева И.А., Юсупов С.К., Пименов Н.В., Дегерменджи А.Г., Иванов М.В. 2005. Микробиологические и изотопно-геохимические исследования меромиктических озер Хакасии в зимний сезон // Микробиология. Т.74. № 4. С.552–561.
- Соколов А.А. 1952. Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат. URL: <http://www.abratsev.narod.ru/biblio/sokolov/content.html>
- Соколова Е.В. 1934. Материалы к гидрологии Бабьего моря // К.М. Дерюгин (ред.). Исслед. морей СССР. Вып. 20. С.33–42.
- Стрелков П.П., Фокин М.В., Шунатова Н.Н., Усов Н.В., Федюк М.Л., Шошина Е.В., Малавенда С.С., Самысько Ю.В., Редькин Д.В., Корсун С.А. 2005. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцевом море): 80 лет после Дерюгина // Матер. IV науч. семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина». СПб. С.44–64.
- Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Лисицын А.П., Евзеров В.Я., ван Беек П., Суо М., Субетто Г.Д. 2012. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // Докл. РАН. Т.446. № 2. С.183–190.

- Хайтов В.М., Зайчикова А.А., Полоскин А.В., Сказина М.А. 2013. Памятник природы — Долгая губа о. Большого Соловецкого: особенности бентосного населения (обзор работ Е.А. Нинбурга и его учеников) // Матер. науч. конф. «Морская биология, геология, океанология — междисциплинарные исследования на морских стационарах», посвященной 75-летию Беломорской биологической станции МГУ (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 27 февраля — 1 марта 2013 г.): Тез. докл. М.: Т-во научн. изданий КМК.С. 311–316.
- Харчева А.В., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Горшкова О.М., Южаков В.И., Пацаева С.В. 2013. Спектрально-оптические и физико-химические свойства воды в меромиктических водоемах Кандалакшского залива Белого моря // Геология морей и океанов: Матер. XX Межд. науч. конф. (школы) по морской геологии. М.: ГЕОС. Т.3. С.261–265.
- Чернов В.К. 1947. К изучению иловых отложений озер побережья Белого моря в связи с вопросом о вековом поднятии суши // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. Вып.1. С.65–78.
- Чуднов К.П. 1925. Краткий обзор фауны Соловецких островов (из предварительного отчета) // Соловецкие острова. № 6. С.9–13.
- Шапоренко С.И. 2003. Гидролого-гидрохимическая характеристика отшнуровывающихся водоемов района ББС (Кандалакшский залив Белого моря) // Тр. Беломорской биол. станции. Т.9. С.184–190.
- Шапоренко С.И. 2004. Кисло-сладкие озера у Полярного круга // Природа. № 11. С.23–30.
- Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М. 2005. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы. Т.32. № 5. С.517–532.
- Behnke A., Bunge J., Barger K., Breiner H.-W., Alla V., Stoeck Th. 2006. Microeukaryote Community Patterns along an O₂/H₂S Gradient in a Supersulfidic Anoxic Fjord (Framvaren, Norway) // Applied and Environmental Microbiology. Vol.72. No.5. P.3626–3636.
- Dreßler M., Schult M., Schubert M., Buck J. 2009. Basin elevation and salinity changes: late Holocene development of two freshwater lakes at the Karelian White Sea coast, northwest Russia as reflected in their sediments // Hydrobiologia. Vol.631. P.247–266.
- Dugan H.A., Lamoureux S.F. 2011. The chemical development of a hypersaline coastal basin in the High Arctic // Limnol. Oceanogr. Vol.56. No.2. P.495–507.
- Kharcheva A.V., Meschankin A.V., Lyalin I.I., Krasnova E.D., Voronov D.A., Patsaeva S.V. 2014. The study of coastal meromictic water basins in the Kandalaksha Gulf of the White Sea by spectral and physicochemical methods // SPIE Proceedings. Vol.90310T (January 30, 2014).
- Knipowitsch N. 1895. Ueber den Reliktensee “Mogilnoje” auf der Insel Kildin an der Murman-Küste // Mem. Acad. Sci. St.-Petersbourg. T.3. No.5. S.459–473.
- Krasnova E.D., Kharcheva A.V., Milutina I.A., Voronov D.A., Patsaeva S.V. 2015. Study of microbial communities in redox zone of meromictic lakes isolated from the White Sea using spectral and molecular methods // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom in special issue — EMBS European Marine Biology Symposium. Vol.95. No8. P.1579–1590.
- Losyuk G., Kokryatskaya N., Krasnova E. 2015. Formation of hydrogen sulfide in isolated basins at the Karelian of the White Sea coast // EARSeL eProceedings. Vol.14(S1): 1st Student Workshop on Ecology and Optics of the White Sea. P.49–54.
- Millero F.J. 1991. The oxidation of H₂S in Framvaren Fjord // Limnol. Oceanogr. Vol.36. P.1007–1014.
- Strelkov P., Shunatova N., Usov N., Fedyuk M., Malavenda S., Lubina O., Poloskin A., Korsun S. 2014. Marine Lake Mogilnoe (Kildin Island, Barents Sea): one hundred years of solitude // Polar Biology. Vol.37. P.297–310.



Цв. ил. 1. Оз. Кисло-Сладкое, снимок со спутника, сделанный весной, когда озеро еще покрыто льдом.



Цв. ил. 2. Озеро Кисло-Сладкое. Вид с материкового берега. Виден остров, покрытый лесом, слева — закрывшийся пролив, справа — еще действующий, представляющий собой каменистую грядку.



Цв. ил. 3. Действующий порог оз. Кисло-Сладкого: сверху — в обычное время, когда вода из озера стекает в море, внизу — во время высокого сизигийного прилива, когда вода из моря поступает в озеро.





Цв. ил. 4. Спутниковый снимок окрестностей Зеленого мыса и озер Нижнего и Верхнего Ершовских.



Цв. ил. 5. Лагуна на Зеленом мысу. Нитчатые водоросли на поверхности лагуны.



Цв. ил. 6. Оз. Маленькое на Зеленом мысу.



Цв. ил. 7. Снимок оз. Трехцветного со спутника.



Цв. ил. 8. Панорама оз. Трехцветного.



Цв. ил. 9. Три цвета воды из Трехцветного озера



Цв. ил. 10. Оз. Нижнее Ершовское с подводными листьями ежеголовника.



Цв. ил. 11. Оз. Еловое. Панорама.



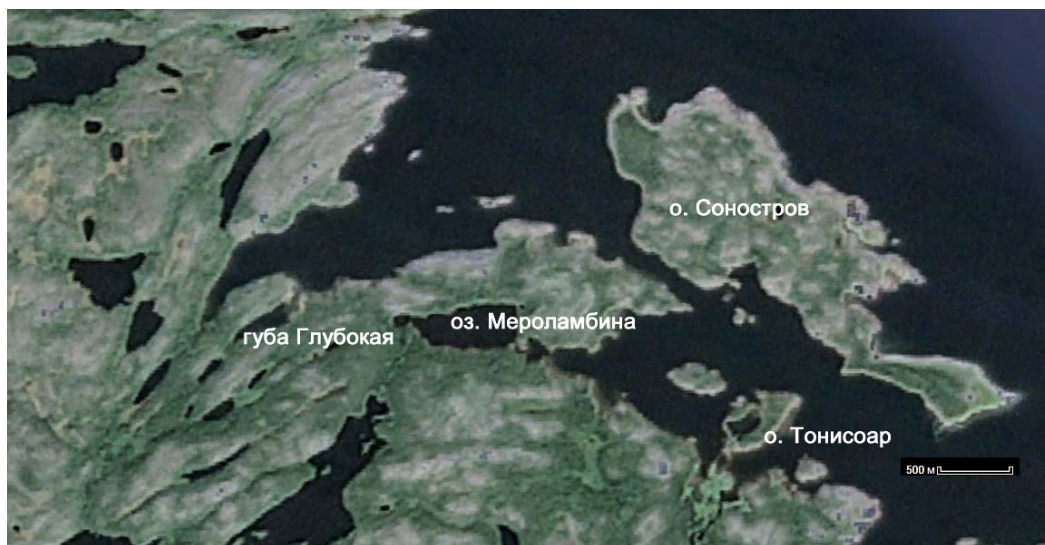
Цв. ил. 12. Озеро Еловое. Октябрь.



Цв. ил. 13. Оз. Еловое — нижнее в каскаде озер, соединенных протоками. Снимок с космического спутника.



Цв. ил. 14. Ручей, вытекающий из оз. Елового в море.



Цв. ил. 15. Карта района о. Соностров.



Цв. табл. 16. Пролив, соединяющий оз. Мероламина с морем.



Цв. ил. 17. Озеро Мероламина. Озеро лишь недавно отделилось от моря, о чем свидетельствует еще не заросшая кустарниками и древесной порослью литораль.



Цв. ил. 18. Губа Глубокая в районе о. Соностров. Панорама.



Цв. ил. 19. Панорама оз. «Вонючка» на о. Тонисоар.



Цв. ил. 20. Литораль озера «Вонючка» на о. Тонисоар во время отлива.



Цв. ил. 21. Панорама лагуны в Чупинских шхерах.



Цв. ил. 22. Озеро Большие Хрусломены. Снимок со спутника.



Цв. ил. 23. Панорама оз. Б. Хрусломены.