



**Вторая международная научная конференция  
«Природные ресурсы и комплексное освоение  
прибрежных районов Арктической зоны»**

---

**Second international scientific conference  
«Natural Resources and Integrated Development  
of Coastal Areas in the Arctic Zone»**

Федеральное агентство научных организаций

Российская академия наук

Уральское отделение РАН

Правительство Архангельской области

Федеральный исследовательский центр  
комплексного изучения Арктики РАН

Международный арктический научный комитет

Российский фонд фундаментальных исследований

# **Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны**

Сборник научных трудов

Архангельск

2016

УДК 332.1(330.15)

**Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны:** Сб. научных трудов / Отв. ред. д.э.н., проф. В.И.Павленко. – Архангельск, 2016. – 542 с.

В сборнике представлены материалы Второй Международной научной конференции, посвященные проблемам: развития Северного морского пути и освоения экономического потенциала морских пространств и прибрежных территорий в Арктике; технологий и методов изучения, сохранения и освоения природных комплексов морских и прибрежных районов Арктики; этносоциальных и социокультурных процессов, положения коренного населения в прибрежных районах Арктики; комплексного управления прибрежными зонами как инструмента сбалансированного социально-экономического развития арктических территорий.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Издание осуществлено при поддержке:

Российского фонда фундаментальных исследований,  
проект № 16-05-20678-Г.

© ФГБУН «Федеральный  
исследовательский центр  
комплексного изучения  
Арктики РАН», 2016

© Коллектив авторов, 2016

# ОТДЕЛЯЮЩИЕСЯ ВОДОЕМЫ БЕЛОГО МОРЯ: ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ

УДК 556.55

**Ефимова Л.Е.<sup>1</sup>, Фролова Н.Л.<sup>2</sup>, Краснова Е.Д.<sup>3</sup>, Кокрятская Н.М.<sup>4</sup>,  
Ефимов В.А.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>к.г.н., МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, с.н.с.;

<sup>2</sup>д.г.н., МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, профессор; <sup>3</sup>к.б.н., МГУ имени М.В.Ломоносова, биологический факультет, с.н.с.; <sup>4</sup>к.г.-м.н., ИЭПС УРОРАН, зав.лаб.; <sup>5</sup>МГУ имени М.В.Ломоносова географический факультет, бакалавр.

**Efimova L. E.<sup>1</sup>, Frolova N.L.<sup>2</sup>, Krasnova E.D.<sup>3</sup>, Kokryatskaya N.M.<sup>4</sup>,  
Efimov V.A.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Geography, senior research scientist of Lomonosov MSU, Faculty of Geography; <sup>2</sup>ScD in, professor of Lomonosov MSU, Faculty of Geography;

<sup>3</sup>PhD in Biology, senior research scientist of Lomonosov MSU, Faculty of Biology; <sup>4</sup>PhD in geology and mineralogy; <sup>5</sup>bachelor of Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

*Ключевые слова: озеро, Белое море, гидрологическая структура, химический состав воды, кислород, сероводород, биогенные элементы, водный сток.*

Интенсивное поднятие береговой зоны Белого моря приводит к постепенному отделению от моря небольших водоемов, в которых формируется уникальный гидролого-гидрохимический режим, обусловленный морфометрическими характеристиками, особенностями водообмена, соотношением поступающих объемов пресной и морской воды. Эти факторы определяют развитие водоема в направлении осолонения, опреснения или формирования меромиктической структуры.

В 2014–2016 гг. в окрестностях Беломорской биостанции МГУ проводилось изучение сезонных изменений гидрологической структуры и химического состава воды водоемов, находящихся на разной стадии изоляции от моря. Общей чертой

исследованных озёр является низкое содержание в воде растворённого кислорода, его полное отсутствие в гипolimнионе. Высокие концентрации минерального фосфора в гипolimнионе обусловлены отсутствием потребления и поступлением из донных отложений в условиях аноксии.

Исследование отделяющихся водоемов имеет большое значение, *поскольку* в водоемах, отделенных от моря техногенным путем часто возникает сероводородное заражение

Большинство малых озер, расположенных на побережье Кандалакшского залива, по происхождению представляют собой участки морских акваторий, отделившихся в результате подъема дна и берегов залива. Этот подъем продолжается со средней скоростью 3-4 мм/год [1].

Исследование отделившихся прибрежных водоемов имеет большое значение для параметризации процессов, протекающих в водных объектах, образованных не только естественным, но и техногенным путем. Малые озера естественного происхождения могут служить моделью при изучении более крупных водоемов, гидрологический режим которых зачастую представляет собой сжатый во времени техногенный вариант процесса отчленения от моря. Исследования полезны при прогнозе экологических последствий искусственного отделения морских акваторий: при строительстве дамб, мостов и приливных электростанций [2].

Комплексные исследования водоемов, расположенных в окрестностях Беломорской биостанции (ББС) МГУ имени М.В. Ломоносова проводятся более 10 лет [3–6]. В 2014–2016 гг. в разные гидрологические сезоны силами преподавателей и студентов кафедры гидрологии суши и сотрудников ББС изучены внутригодовые изменения гидрологической структуры и гидрохимических параметров прибрежных водоемов. В окрестностях станции изучались восемь водоемов. Три озера Верхнее, Водопроводное и В. Ершовское пресные, со слабокислыми и нейтральными водами. Солоноватые и соленые водоемы – озеро Кисло-Сладкое и лагуна Зеленого мыса. Заметные отличия в химическом составе вод имеют озера Трехцветное и Еловое, проявляющие черты меромиктических водоемов (рисунок 1).

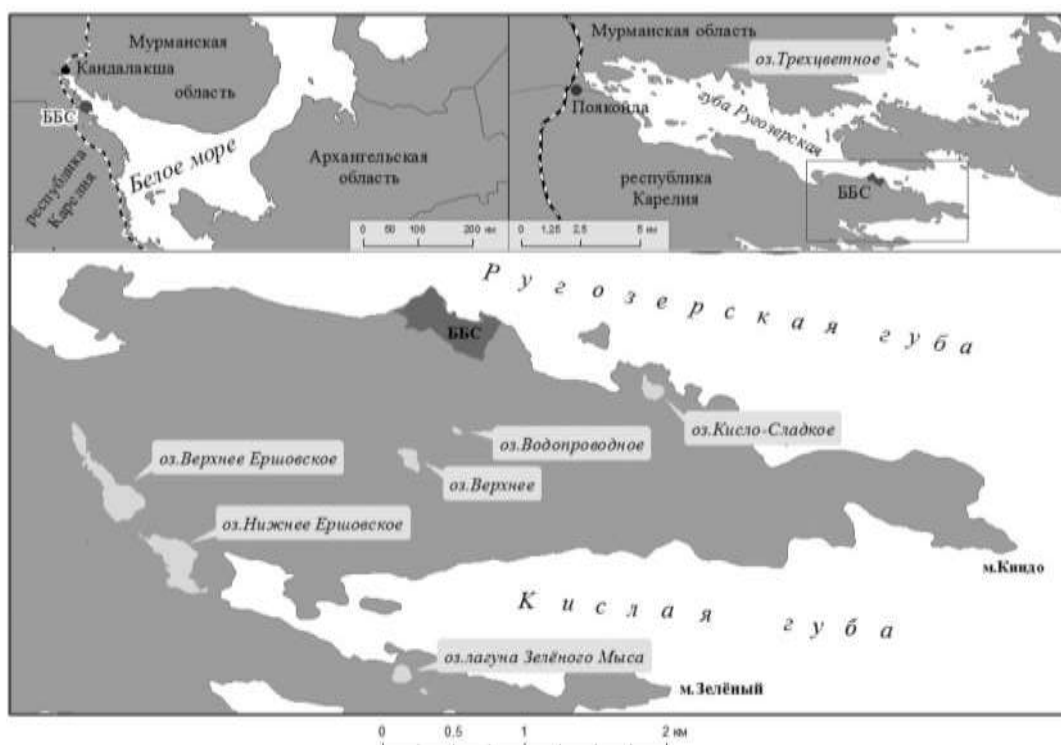


Рисунок 1 – Расположение исследуемых озер

При проведении гидролого-гидрохимических съемок в озерных водах измерялись температура, электропроводность, содержание растворенного кислорода, рН и окислительно-восстановительные условия. В наиболее глубоководных частях изученных озер выбраны станции, где при помощи погружаемого насоса Mini Purger WP 4012 из разных слоев водоема были отобраны, отфильтрованы через мембранный фильтр (0,45 мкм) и законсервированы пробы воды для последующего определения в них макро-, микроэлементов и биогенных веществ. Измерения проводились согласно методикам, изложенным в [7, 8] в полевой гидрохимической лаборатории ББС и в лаборатории кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ.

Морфометрические характеристики озер играют важную роль в формировании гидрологической структуры. Водосборы пресных озер расположены значительно выше уровня моря, что исключает непосредственное поступление в них морских вод. Однако близость к морю обуславливает заметную роль в питании озер атмосферных осадков морского происхождения. Это способствует наличию в ионном составе воды большой доли хлоридов и натрия. Разгрузка подземных вод приводит к увеличению в придонных слоях озер минерализации, содержания железа, кремния и минерального фосфора и способствует формированию довольно стабильной гидрологической структуры на протяжении всего года. В разные сезоны изменяется соотношение между формами фосфора. Несмотря на увеличение в весенний период концентрации минерального фосфора, преобладающей формой на протяжении почти всего года остается органический фосфор.

Известно [5], что большинство отделяющихся прибрежных водоемов проходит в своем развитии через «меромиктическую» стадию, при которой создается специфическая гидрологическая структура, включающая в себя опресненный атмосферными осадками и склоново-поверхностными водами, менее плотный верхний слой и нижний слой соленой морской воды. Наиболее ярко меромиктическая структура проявляется в озерах Трехцветное, Еловое и Кисло-Сладкое.

Гидрологическая особенность, объединяющая все исследованные водоемы, – незначительный приток пресных вод. Влияние морских вод, поступающих вследствие периодических штормовых нагонов, довольно велико. Несмотря на то, что сформировавшаяся гидрологическая структура отделяющихся водоемов может довольно долгое время существовать даже после прекращения связи с морем, определяющую роль в ее существовании играет величина водообмена в озерах. По мере изоляции водоемов наиболее заметные изменения характерны для солености и газового режима вод (формирование зон аноксии и сероводородного заражения), содержания биогенных элементов. В конце 2011 г. в результате штормового нагона в прибрежные водоемы, практически уже изолированные от моря, поступило большое количество морской воды. Это вызвало резкое увеличение солености поверхностного опресненного слоя озер Трехцветное, Кисло-Сладкое, лагуны Зеленого мыса, Н.Ершовское. Как показали результаты дальнейших наблюдений, сформировавшаяся в озерах гидрологическая структура довольно быстро восстановилась. В течение года после заброса соленой воды во всех обследованных озерах было отмечено развитие анаэробных условий. В придонных слоях воды сформировались зоны аноксии, началось сероводородное заражение [3].

Устойчивости вертикальной структуры в озерах способствовало и увеличение атмосферных осадков. По ежесуточным данным для периода 2005–2015 гг. за каждый год был вычислен модульный коэффициент (отношение суммы осадков за рассматриваемый год к среднему за весь период). Полученные значения свидетельствуют о том, что период с 2012 по 2015 год можно назвать более обильным в отношении атмосферных осадков (значения модульных коэффициентов от 1,11 до 1,34) по сравнению с 2005–2011 гг. (значения модульных коэффициентов менее 1,00). Наибольшее количество осадков отмечено в 2014 и 2015 гг. и приходилось на период с мая по октябрь.

Озеро Кисло-Сладкое и озеро-лагуна у Зеленого Мыса не утратили связи с морем: озеро-лагуна у Зеленого мыса – на начальной стадии отделения; оз. Кисло-Сладкое имеет водообмен с морем во время сизигийных приливов. Относительный солевой состав вод мало отличается от состава беломорских вод. При этом для вертикальной структуры оз. Кисло-Сладкое характерны сезонные изменения, выражающиеся в опреснении его верхнего слоя (от 20–22 г/л в период зимней межени до 5–

6,5 г/л на спаде весеннего половодья). Несмотря на ветровое перемешивание, опреснение от поступающих в водоем поверхностных вод и атмосферных осадков сказывается только в верхнем слое до глубины 1 м. Изменения солености воды по вертикали в периоды межени гораздо более выражены, чем в осенний период. И если в пресных озерах однородность минерализации воды по глубине обусловлена процессами осенней гомотермии, то в озере Кисло-Сладкое и лагуне на Зеленом мысу – связано с осенним поступлением морских вод вследствие высоких приливов, нагонов и штормов.

Характерную меромиктическую структуру – пресный поверхностный слой воды с минерализацией 0,3–1,3 г/л, слой скачка плотности, в котором минерализация возрастает более чем в 10 раз, солоноватая водная масса с минерализацией более 20 г/л – имеют озера Трехцветное и Ершовское. Несмотря на сезонные колебания минерализации воды в этих озерах стабильно расположение хемоклина на глубине 1–2,3 м. Солоноватые воды находятся ниже хемоклина, содержат сероводород и характеризуется анаэробными условиями среды. На границе и восстановительной обстановок наблюдается массовое развитие бактерий и водорослей. В гипolimнионе интенсивно идет процесс сульфатредукции и наблюдается накопление минерального фосфора (до 6 и более г/л). В гипolimнионе других изученных отделившихся озер также отмечены высокие концентрации минерального фосфора (2–4 г/л) ввиду отсутствия его потребления и поступления из донных отложений в условиях аноксии. Величина диффузионного потока фосфора из грунтов в воду и наоборот определяется различиями концентраций в поровом растворе и придонной воде; количеством фосфатов, высвобождающихся при деструкции ОВ, десорбции фосфатов с гидрооксида железа, возникающие в условия кислородного дефицита.

Озеро может так и не стать меромиктическим, вернувшись к предшествующей стадии, превратившись в пресное озеро с сохранившейся осолоненной придонной водой в наиболее глубоких частях. После шторма в конце 2011 г. в оз. Н.Ершовское начала формироваться структура вод, характерная для меромиктических водоемов. С 2012 по 2015 гг. вследствие увеличения атмосферных осадков, поступления пресных вод с водосбора и отсутствия заброса морских вод наблюдалось увеличение мощности пресного слоя и уменьшение мощности (в 4 раза) и солености (в 5 раз) придонного слоя. Осенью 2015 г. минерализация придонных анаэробных солоноватых вод в самой глубокой части составляла 1,2 г/л, содержание сероводорода также уменьшилось более, чем в 5 раз.

Выводы. Сезонные и межгодовые изменения гидрологической структуры отделившихся водоемов ярко проявляются в основном в поверхностных горизонтах. Развитие водоема в направлении осолонения, опреснения или формирования меромиктической структуры зависит от морфометрических характеристик, величины водообмена, соотношения



объемов пресной и морской воды. Увеличение атмосферных осадков в период 2012-2015 гг. и отсутствие поступления морских вод привело к разрушению гидрологической структуры оз. Н.Ершовское, которое в настоящий момент стало пресным водоемом. Общей чертой исследованных озёр является низкое содержание в воде растворённого кислорода, его полное отсутствие в гипolimнионе. Высокие концентрации минерального фосфора в гипolimнионе обусловлены отсутствием потребления и поступлением из донных отложений в условиях аноксии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-17-00155).

#### Список литературы

1. Романенко Ф.А., Шилова О.С. Послеледниковое поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-болотных отложений п-ова Киндо // ДАН, т. 442, № 4, М., 2012. С. 544-548.
2. Демиденко Природные и искусственные морские бассейны Севера европейской части России на разных этапах изоляции //Материалы научной конференции «Морская биология, геология, океанология – междисциплинарные исследования на морских стационарах» М., 2013. С.85-90
3. 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.
4. Краснова Е.Д., Демиденко Н.А., Пантюлин А.Н., Фролова Н.Л., Ефимова Л.Е., Широкова В.А. Термический и ледовый режим реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // В сб. "Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей". Труды VIII международной научно-практической конференции. Том 1. М.: изд-во РУДН, 2014. С.430—443.
5. Краснова Е. Д., Пантюлин А. Н. Кисло-сладкие озера полные чудес // Природа, М., 2013. С. 39–48.
6. Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н. М. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы, т.32, №5. М., 2005. С. 517–532.
7. Комаров Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель». СПб.: Изд. «Веда», 2006. 212 с.
8. 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.

#### Separating lakes of the White sea region: the hydrological structure and water chemistry formation features

*Key words: lake; White Sea; hydrological structure, the chemical composition of water, oxygen, sulfide, nutrients, water runoff*

Nowadays, an intensive rise of the rugged shores of the White Sea leads to the gradual separation of small water bodies from the sea. This lakes have a unique hydrological-hydrochemical regime. It depends on morphometric characteristics, water exchange, and the

ratio of the incoming fresh and marine waters. The combination of these factors lead to the development of lakes in the direction of salinization, in the direction of desalination, or it can form a special meromictic structure.

A study of annual changes in hydrological structure and water chemistry of water bodies was held in 2013-2016 in the area of the White Sea Biological Station of Moscow state University. The low content of dissolved oxygen in water and it's complete absence in the hypolimnion is a common feature of the investigated lakes. High concentrations of mineral phosphorus in the hypolimnion occur due to the lack of it's consumption, and input from bottom sediments under conditions of anoxia.

The study of separated lakes has an immense significance, since similar hydrological-hydrochemical regime changes and, hydrogen sulfide contamination can occur in artificial water bodies, separated from the sea.