



**VII Международная конференция  
«Морские исследования и образование»**

**Москва, 19-22 ноября 2018 г.**

**VII International conference  
"Marine Research and Education"**

**Moscow, 19-22 November 2018**

**MARESEDU-2018**

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ / CONFERENCE PROCEEDINGS**

**Том / Volume IV (IV)**

УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

T78

Труды VII Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)” Том IV (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2019, 350 с.: ISBN 978-5-6041943-5-5.

Сборник «Труды VII Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)”» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, геолого-геофизические исследования на акваториях, морская геология и геофизика, рациональное природопользование, гидрология и др. Специальным событием в программе этого года стало проведение дополнительной юбилейной конференции, организованной в честь 80-летия ББС имени Н.А. Перцова, – «Морская биология, геология и океанология – междисциплинарные исследования на морских стационарах». В четвертом томе сборника представлены тезисы докладов по направлениям: таксономия и филогения, биология развития, биология морских животных, морская микробиология, альгология и микробиология, физиология.

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

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

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский пр-т,  
д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

ООО «Центр морских исследований МГУ  
имени М.В. Ломоносова».  
РФ, 119234, г. Москва, ул. Ленинские Горы, д.  
1, стр. 77  
(495) 648-65-58/ 930-80-58

Все права на издание принадлежат ООО  
«Центр морских исследований МГУ имени  
М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований МГУ  
имени М.В. Ломоносова», 2019  
© ООО «ПолиПРЕСС»

## Комплексные исследования водных объектов побережья Белого моря в период летних практик и зимних экспедиций НСО

Фролова Н.Л.<sup>1</sup>, Краснова Е.Д.<sup>2</sup>, Ефимова Л.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М.В.Ломоносова, географический факультет

<sup>2</sup>МГУ им. М.В.Ломоносова, биологический факультет, Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова

### Аннотация

В докладе рассматриваются результаты комплексных исследований малых озер западного побережья Белого моря, проводившихся студентами и сотрудниками географического и биологического факультетов МГУ в 2014-2017 гг. При проведении зимних экспедиций НСО и летних гидрологических практик была расширена география уникальных водных объектов, отделяющихся от моря. Впервые получены научные результаты, касающиеся особенностей гидрологического и гидрохимического режима озер, их изотопного состава, связи прибрежных озер и моря, пространственной изменчивости характеристик снежного покрова, распределения макрозообентоса, фототрофных микроорганизмов, растворенного органического вещества и белковых комплексов в водной толще озер. Получены новые данные о показателях химического состава воды сложившегося меромиктического водоема.

### Введение

Поднятие береговой зоны Белого моря приводит к постепенному отделению от моря небольших водоемов, в которых формируется уникальный гидролого-гидрохимический режим. Данные натурных наблюдений помогают параметризовать процессы, протекающие в водных объектах естественного и техногенного происхождения. Малые озера естественного происхождения служат моделью при изучении более крупных водоемов, гидрологический режим которых зачастую представляет собой сжатый во времени техногенный вариант отделения морских акваторий, в которых часто возникает сероводородное заражение – одно из экологических последствий строительства мостов и приливных электростанций (Кокрятская и др., 2011; Демиденко и др. 2013) Гидрологическая же изученность этих объектов и процессов, протекающих в них, явно недостаточна.

Получение новых натурных данных о неизученных или малоизученных водоемах – сложная и трудоемкая задача, решение которой невозможно без выполнения комплексных исследований, в которых активно участвуют студенты и аспиранты географического, биологического и физического факультетов МГУ. Эти исследования удобно проводить в ходе студенческих практик и экспедиций.

Цель проводимых исследований – подробное изучение внутригодового режима водных объектов побережья Белого моря, включая морские заливы и озера на разной стадии отделения. Особенности микроклиматических условий в районе исследований, необычный химический состав водоемов, их разнообразная гидрологическая структура с разными вариантами сезонной изменчивости обусловили проведение самых разнообразных гидролого-гидрохимических, гидробиологических и метеорологических исследований.

Комплексные исследования водных объектов в разные гидрологические сезоны 2014-2017 гг. (зимняя межень, спад половодья, летне-осенний период), впервые позволили довольно подробно выявить внутригодовые особенности гидролого-гидрохимических, гидробиологических и метеорологических показателей. Была также расширена география уникальных водных объектов, отделяющихся от моря.

### **Объекты и методы исследования**

Для изучения пространственно-временной изменчивости в окрестностях ББС комплексные исследования ведутся на восьми водоемах, объединенных в группы с разной степенью изолированности от моря (Ефимова и др., 2015). Одна группа водоемов давно утратила связь с морем, трансформировавшись в пресноводные озера, в питании которых основная роль принадлежит атмосферным осадкам, диффузионному поверхностному и подземному стоку. Другая группа водоемов расположена в котловинах, наследующих мелководные морские заливы. Прекращение проникновения в них морских вод при приливах и отсутствие перемешивания приводит к расслоению водной толщи и возникновению в придонных понижениях застойных зон с более высокой соленостью и постоянной температурой. Изолированность и устойчивая плотностная стратификация вод в этих водоемах усиливают контрастность слоев, а в барьерной зоне происходит смена хорошо аэрированных вод на воды с восстановительными условиями и высоким содержанием сероводорода. Прекращение перемешивания и возникновение слоев воды, резко различающихся по физическим и гидрохимическим параметрам, создает условия для увеличения плотности бактериальных сообществ, а фотосинтезирующие сообщества сменяются хемосинтезирующими. Третья группа водных объектов находится под воздействием морских вод, приток которых максимален во время высоких приливов и ветровых нагонов. В водоемах третьей группы (озеро-лагуна на Зеленом мысе, озера в окрестностях острова Соностров) могут наблюдаться колебания уровня воды, периодическая смена водных масс и отсутствие их смены в застойных зонах придонных слоев.

В сентябре 2017 г. впервые проведенные комплексные исследования отделяющихся от моря водоемов, расположенных на юго-восточном побережье Кандалакшского залива, позволили подтвердить общие черты отделяющихся водоемов беломорского побережья и дополнить базу данных ББС.

### **Результаты**

Важнейшее направление в комплексных исследованиях – это **геодезические и картографические работы**, выполняющиеся с помощью высокоточного современного оборудования. Выполненные исследования позволили определить высотные отметки изучаемых озер и получить данные об их уровнях в труднодоступных местах полуострова Киндо. В настоящее время для большинства водоемов получены морфометрические характеристики, анализ которых помог не только выделить различные группы озер, но объяснить внутригодовые особенности их гидрологической структуры. Например, различия морфометрических показателей озер возле о. Соностров обуславливают различия в положении в них хемоклина.

Многолетние сезонные наблюдения во время экспедиций и практик невозможны без **метеорологических работ**, которые проводятся с помощью автоматических метеорологических станций, установленных на пирсе ББС МГУ и на Ругозерской горе. На пирсе ББС в разные сезоны были также установлены температурный профилемер МТР-5 и высокочастотный анализатор метана Licor-7700. Это позволило, в частности, изучить турбулентный режим приземного слоя воздуха над небольшим окруженным лесом озером и оценить содержания метана и углекислого газа в водоемах различных типов.

Собранные ежесуточные данные об атмосферных осадках для периода 2005–2015 гг. позволили вычислить за каждый год 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. Увеличение атмосферных осадков способствовало усилению устойчивости вертикальной структуры в озерах.

**Океанологические исследования** были посвящены определению влияния приливных процессов на термохалинную структуру вод Белого моря, описанию термической структуры озер, а также определению содержания углеводов (УВ), хлорофилла, микроэлементов в подледной воде, горизонтах льда, снеге. Анализ результатов показал, что с 2010 по 2015 гг. содержание УВ возле пирса ББС выросло почти в 20 раз (4,3 мкг/л – 83,7 мкг/л) и в 2015 г. превысило ПДК в 1,5 раза, что уже говорит об углеводородном загрязнении. Для станции возле озера Кисло-Сладкого в морской акватории в 2015 г. такого значительного роста не наблюдается, однако в нижнем горизонте льда и в подледной воде также наблюдается тенденция увеличения концентраций УВ.

### **Гидролого-гидрохимические исследования**

Оценка внутригодовых изменений вертикальной структуры водоемов базируется на гидролого-гидрохимических синхронных съемках озер. Для каждого водоема определялись следующие характеристики: электропроводность, температура, соленость, величина рН воды, содержание растворенного в воде кислорода, главных ионов и биогенных элементов. Для оценки возможной гидравлической связи моря и озера использовались датчики уровня, температуры и солености воды, которые устанавливались непосредственно около перемычки, соединяющей озеро и море. Запись проводилась логгерами LevelloggerEdge и Star-ODDI с дискретностью в 10 минут. Для каждого водоема исследования проводились на репрезентативных вертикалях, а также на продольных и поперечных гидрологических разрезах.

Известно (Шапоренко и др., 2005), 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, которые находятся на разных стадиях отделения от моря.

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. Натурный эксперимент (методом трубок Романенко), проведенный в сентябре 2017 г. на озерах *Тонисоар*, Мероламбина и в лагуне Глубокая, показал, что потоки минерального фосфора направлены из донных отложений в воду, но их величина обусловлена особенностями гидрологической структуры водоемов (Ефимов В.А. др., 2017). Максимальная скорость этого процесса (10,5 мг/л в сут.) – отмечена в озере на острове Тонисоар, и, как и в лагуне, расположенной в вершине губы Глубокой, обусловлена наличием аноксии в условиях устойчивой стратификации.

### **Гидробиологические и микробиологические исследования**

В Кисло-Сладком озере – одном из модельных и наиболее изученных объектов, в течение нескольких лет проводится мониторинг гидрологических, гидрохимических, микробиологических характеристик, изучение бактериальных и фитопланктонных сообществ.

В зимний период гидрологическая и гидрохимическая структура озера заметно отличаются от летних, что сказывается на составе и распределении планктонных организмов. Для гидрологической характеристики пробы бентоса в данном озере были собраны с помощью дночерпателя Экмана-Берджи в зимний и летний периоды на 18 станциях с трех трансект (Базилова и др., 2015; Krasnova et al., 2015). Летом биомасса бентоса в озере Кисло-Сладком варьировала от 0,6 до 200 г/м<sup>2</sup>, что сопоставимо с летней биомассой в море – 9-279 г/м<sup>2</sup>, зимой средняя биомасса в озере снижается почти в четыре раза, составив: 12 г/м<sup>2</sup> против 45 г/м<sup>2</sup> летом при разбросе от 0,9 до 54 г/м<sup>2</sup>.

Микробиологические исследования были проведены в 2017 г. в стратифицированных водоемах, расположенных на юго-восточном побережье Кандалакшского залива. Исследования показали, что величина микробного числа варьирует в диапазоне  $3-5 \cdot 10^5$  кл./мл.

### **Физико-химические и спектрально-оптические исследования**

Цель исследований – измерение относительного количества зеленых серных бактерий (ЗСБ) в водоемах на разной глубине, а также разделение вкладов зеленоокрашенных и коричневоокрашенных ЗСБ с помощью комплекса спектрально-оптических методов. Анализ проб озерной воды проведен методами оптической спектроскопии – флуоресцентной и абсорбционной спектроскопии, а также спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света. По спектрам поглощения и флуоресценции изучалось вертикальное распределение фототрофных микроорганизмов (по полосам хлорофилла и бактериохлорофилла), растворенного органического вещества и белковых комплексов, проведено сравнение распределений концентраций пигментов в летний и зимний период (Жильцова и др., 2018).

### **Заключение**

Исследуемые озера стали уникальными объектами, где проводится регулярный гидрологический и гидробиологический мониторинг. Выполнена инвентаризация стратифицированных водоемов на западном побережье Белого моря. Впервые получены научные результаты, касающиеся особенностей гидрологического и гидрохимического режима озер, их изотопного состава, связи прибрежных озер и моря, пространственной изменчивости характеристик снежного покрова, распределения макрозообентоса, фототрофных микроорганизмов, растворенного органического вещества и белковых комплексов в водной толще озер. Получены новые данные о показателях химического состава воды сложившегося меромиктического водоема.

Важным и полезным результатом является знакомство студентов – участников практик и экспедиций с современными приборами, технологиями, способами получения и обработки гидрометеорологической информации.

Работа поддержана РФФИ (грант № 16-05-00548) и РНФ (№ 14-17- 00155).

### **Список литературы**

Базилова В.О., Балабин Ф.А., Белоусова В.Н., Беляев Б.М., Василенко А.Н., Гусева С.П., Ефимов В.А., Захарченко Д.И., Калмацкая О.А., Косенков А.В., Кораблина А.Д., Корпушенков И.А., Кошутин Р.А., Кравчук Г.А., Лаптинский К.А., Мардашова М.В., Моисеев А.И., Осипов А.М., Полюхов А.А., Сазонов А.А., Телегина А.А., Телегина Е.А., Терский Петр Н., Титова А.М., Турмачев Н.В., Харламов М.А., Харчева А.В. Комплексное исследование состояния водных объектов и динамики приземного слоя атмосферы на примере западного побережья

Белого моря в зимний период // Исследования молодых географов: сборник статей участников секции «Экспедиционные исследования» Международной молодежной научной конференции «Ломоносов-2015». Москва: АПР, 2015. С. 36-52.

*Демиденко Н.С.* 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

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

*Жильцова А.А., Харчева А.В., Краснова Е.Д., Лунина О.Н., Воронов Д.А., Саввичев А.С., Горшкова О.М., Пацаева С.В.* Спектральное исследование зеленых серных бактерий в стратифицированных водоемах Кандалакшского залива Белого моря // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т.31. – № 3. – С.233-239.

*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». М. – 2011. – Т. III. – С.123-125.

*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. 517-32.

*Krasnova E.D., Frolova N.L., Belevich T.A., Demidenko N.A., Efimova L.E., Gorlenko V.M., Kharcheva A.V., Mardashova M.V., Patsaeva S.V., Pantyulin A.N., Samsonov T.E., Savvichev A.S., Voronov D.A.* Evolution of reservoirs of the White Sea coast: from sea lagoons to the meromictic lakes // Book of abstracts of International Geographical Union Regional Conference «Geography, Culture and Society for Our Future Earth», 17–21 August 2015, Moscow, Russia, Thematic Session "Cultural Regionalism and Regional Identity". Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2015. Vol. 3701. P. 1401.