

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОЕМОВ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ: ОТ МОРСКИХ ЛАГУН К МЕРОМИКТИЧЕСКИМ ОЗЕРАМ

Ефимова Л.Е., Фролова Н.Л., Краснова Е.Д., Телегина Е.А., Телегина А.А.,
Ефимов В.А.

МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия
ef_river@mail.ru, frolova_nl@mail.ru

Введение. Берега и дно Кандалакшского залива Белого моря поднимаются со средней скоростью 3-4 мм/год [4]. Береговая линия залива отличается сильной изрезанностью, характерная особенность рельефа дна – чередование котловин и порогов. В этих условиях по всему побережью происходит постепенное обособление и отделение от моря небольших водоемов, что позволяет выявить основные особенности их гидрологической эволюции. Несколько таких водоемов, расположенных в окрестностях Беломорской биостанции МГУ имени М.В. Ломоносова изучаются уже более 10 лет [1, 3, 4, 7]. Объединяющая водоемы гидрологическая особенность – слабый постоянный пресный сток. Поступление морских вод вследствие периодических штормовых нагонов приводит к изменению гидрологической и гидрохимической структуры озер, способствует их сероводородному заражению [1]. Небольшие размеры прибрежных водоемов делают их удобной моделью для изучения трансформации вещества и энергии, что позволяет лучше понимать процессы, происходящие в аналогичных крупных водоемах, а также прогнозировать экологические последствия искусственного отделения морских акваторий, которое может происходить при строительстве дамб, мостов и приливных электростанций. Изменения в гидрологической системе имеют те же тенденции, что и в водоемах, которые отделяются от моря естественным путем. Гидрологическая же изученность этих объектов и процессов, протекающих в них, явно недостаточна.

Объекты и методика исследований. Исследованные озера расположены на разной высоте и характеризуются разной близостью и степенью изолированности от моря (рис. 1). Водоемы близки по морфометрическим характеристикам: их горизонтальные размеры 100–200 м, наличие локальных котловин, около половины площади дна составляют глубины менее 1 м.

Комплексные гидролого-гидрохимические исследования водных объектов (рис. 1) выполнены силами студентов и преподавателей кафедры гидрологии суши и сотрудников Беломорской биологической станции МГУ в разные гидрологические сезоны 2014–2015 гг. (зимняя межень, спад половодья, летне–осенний период), что позволило оценить внутригодовые изменения гидрохимических показателей. В ходе проведения съемок измерены температура, электропроводность и рН озерных вод, в них определены концентрация растворенного кислорода и общая щелочность [6]. В наиболее глубоководных частях изученных озер выбраны вертикали, на которых отобраны, отфильтрованы через мембранный фильтр (0,45 мкм) и

законсервированы пробы воды для последующего определения в них макро-, микроэлементов и биогенных веществ. Лабораторный анализ содержания главных ионов, биогенных элементов и ряда растворенных форм микроэлементов выполнен согласно методикам, изложенным в [2, 5, 6] в полевой гидрохимической лаборатории на месте проведения экспедиции и в гидрохимической лаборатории кафедры гидрологии суши МГУ.

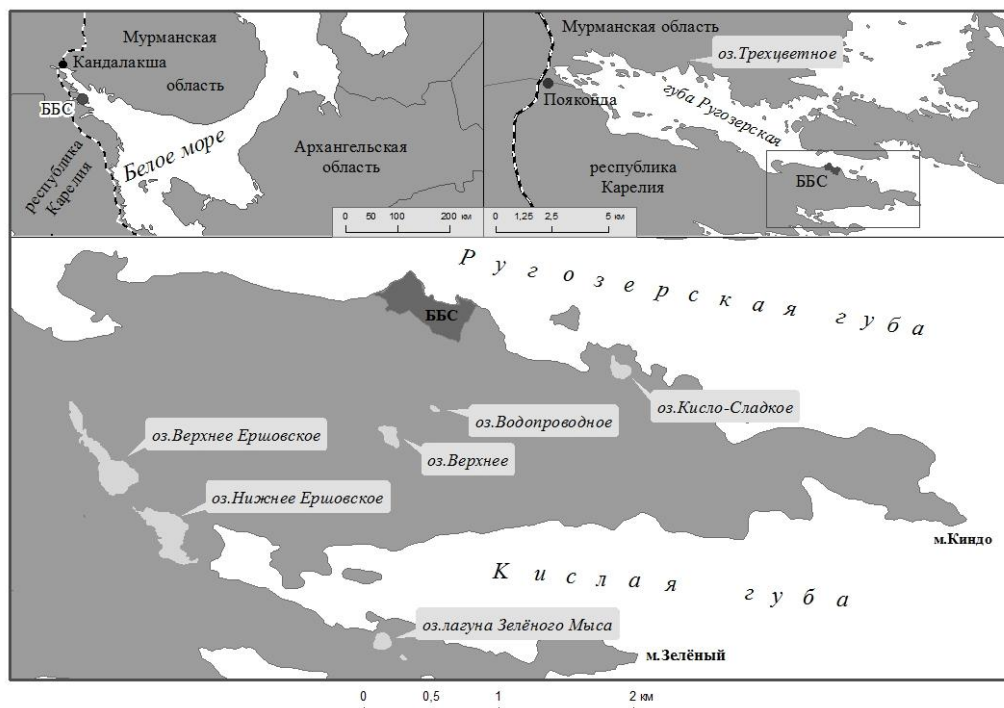


Рисунок 1 – Расположение исследуемых озер

Результаты и обсуждение. Анализ результатов гидрохимических исследований 2014–2015 г. позволил разделить озера на группы: пресные водоемы Верхнее, Водопроводное и Верхнее Ершовское со слабокислыми и нейтральными водами; солоноватые озера Кисло-Сладкое и Зеленого мыса. Отдельно можно выделить озера, не относящиеся к предыдущим группам из-за ряда отличий в химическом составе их вод, и проявляющие черты меромиктических водоемов.

Водосборы пресноводных озер расположены значительно выше уровня моря, что исключает непосредственное поступление в них морских вод. Однако вследствие близости к морю, на акватории озер выпадают осадки морского происхождения. Пресноводные водоемы характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым составом с большой долей хлоридов и натрия. Минерализация воды возрастает с уменьшением высоты водосбора и даже в меженный период не превышает в поверхностных горизонтах водоемов 90 мг/л. Разгрузка в озера пресных вод гидрокарбонатно-кальциевого состава приводит к возрастанию минерализации по вертикали в два раза (градиент достигает 10 мг/л на 1 м). Отмечено заметное увеличение содержания минерального фосфора, кремния, железа, а в зимний период и температуры до 5,5°C в придонных слоях озер. Содержание минерального фосфора немного увеличивается в весенний период, однако, несмотря на поступление $P_{\text{мин}}$ с подземными водами, преобладающей

формой в течение всего года остается органический фосфор (рис.2).

Озеро Кисло-Сладкое и озеро-лагуна у Зеленого Мыса не утратили связи с морем и находятся на разных стадиях отделения: озеро-лагуна у Зеленого мыса

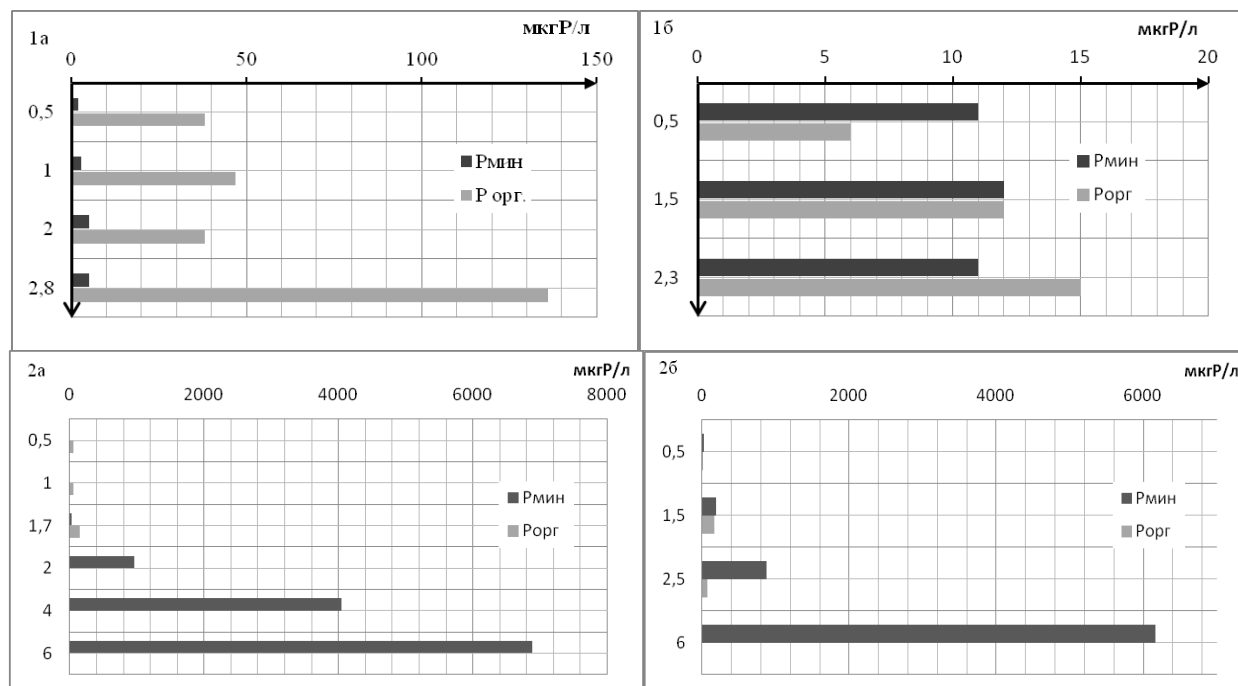


Рисунок 2 – Распределение фосфора по глубине водоемов: 1. Водопроводное (наверху), 2. Трехцветное в зимнюю межень (а) и на спаде половодья (б) (внизу)

– на начальной стадии отделения, оз. Кисло-Сладкое имеет водообмен с морем только во время сизигийных приливов. Относительный солевой состав вод мало отличается от солевого состава беломорских вод. При этом для вертикальной структуры оз. Кисло-Сладкое характерны сезонные изменения, выражающиеся в опреснении верхнего слоя его вод (от 20–22 г/л в период зимней межени до 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. Придонная вода более соленая, чем основная толща воды, имеет зимой более высокую температуру и низкую величину рН, что связано как с наличием сероводорода, так и с процессами деструкции.

На первой стадии изоляции от моря в озерах уже проявляются признаки обособленности. В озере-лагуна у Зеленого мыса зафиксирована анаэробная зона, сохраняющаяся на глубине ниже 4–4,5 м практически в течение всего года. Колебания содержания сероводорода в бескислородных водах этого водоема могут быть обусловлены периодической «промывкой» озера при поступлении в него морских вод в результате сгонно-нагонных явлений в осенний период [1].

Озеро Трехцветное демонстрирует характерные черты меромиктических озер: устойчивую слоистую структуру водоема (пресный поверхностный слой воды с минерализацией 0,4-0,9 г/л), слой скачка плотности, в котором

минерализация возрастает более чем в 10 раз, солоноватая водная масса с минерализацией более 20 г/л). Стабильно расположено в озере хемоклина на глубине 1–2,3 м. Солоноватые воды находятся ниже хемоклина, содержат сероводород и характеризуется анаэробными условиями среды. Наличие хемоклина и существование слоев, резко отличающимися по гидрофизическим и гидрохимическим параметрам, создают условия для развития бактериальных сообществ. В гипolimнионе интенсивно идет процесс сульфатредукции, осуществляемый хемоавтотрофными и аноксигенными фототрофными бактериями. Массовое развитие бактерий и водорослей на границе окислительной и восстановительной обстановок обуславливает наличие в таких водоемах цветных слоев воды. Так, в Трехцветном озере на глубине 2,3 м ниже хемоклина расположен слой воды зеленого цвета, что обусловлено развитием зеленых серобактерий. В гипolimнионе озера, особенно в его придонных горизонтах, отмечено накопление минерального фосфора (до 6 и более г/л ввиду отсутствия его потребления и вероятного поступления из донных отложений в условиях аноксии (рис. 2).

В зависимости от площади водосборного бассейна и доли питания пресными водами водоем может развиваться как в сторону осолонения так и в сторону опреснения. После Озеро может так и не стать меромиктическим и превратиться в пресное озеро с сохранившейся осолоненной придонной водой в его наиболее глубоких частях. После «катастрофического промывания» морскими водами осенью 2011 г. в оз. Нижнее Ершовское начала формироваться структура вод, характерная для меромиктических водоемов. В 2013 г. придонные анаэробные воды имели ярко-зеленый цвет, который, как и для озера Трехцветное им придавало развитие зеленых серобактерий [1]. Зимой 2014 г. минерализация придонных анаэробных солоноватых вод в самой глубокой части составляла 3,5 г/л с градиентом более 2 г/л на 1 м. Воды содержали сероводород (по данным Н.М. Кокрятской - около 80 мг/л), были окрашены в зеленоватый цвет, что также позволяло предположить отсутствие сезонного промешивания и говорить о развитии устойчивой стратификации в водоеме. Однако началось разрушение стратификации, обусловленное увеличившимся притоком пресных вод с водосбора, и за период наблюдений в 2014-2015 гг. мощность придонного осолоненного слоя воды оз. Н. Ершовское уменьшилась почти в четыре раза, его минерализация составила 1,2 г/л.

Выводы. Таким образом, в результате исследований выявлены гидрохимические особенности озер западного побережья Белого моря.

В зависимости от площади водосборного бассейна, поступления пресной воды и контакта с морскими водами, водоем может развиваться как в сторону осолонения, так и в сторону опреснения. Стабильность в вертикальном распределении показателей химического состава воды озера Трехцветное позволяет говорить о нём как о сложившемся меромиктическом водоеме. Озеро Н.Ершовское, вероятнее всего, будет пресным, как и расположенное выше оз. В.Ершовское, если в период штормов и нагонов в него не будут регулярно поступать морские воды.

Пресноводные водоемы характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым составом с большой долей хлоридов и натрия, что обусловлено значительной долей атмосферных осадков в питании озер. Увеличение содержания минерального фосфора, кремния и температуры (выше 4°C) в придонных слоях озер обусловлено поступлением подземных вод. Особенность химического состава воды пресных озер – преобладание органического фосфора в их водной толще в зимний период.

Общей чертой всех исследованных озёр является низкое содержание в воде растворённого кислорода и его полное отсутствие в гипolimнионе. Развитие гипоксии и аноксии в стратифицированных водоемах, находящихся на разных стадиях отделения от Белого моря, создает благоприятные условия для развития сульфатредуцирующих бактерий. В четырёх из изученных озёр сероводород появляется в воде после исчерпания кислорода на окисление органических веществ.

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

Список литературы

1. 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.
2. Комаров Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель». СПб.: Изд. «Веда». 2006. 212 с.
3. 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. М., РУДН. 2014. Том 1. С.430—443.
4. Пантюлин А. Н., Краснова Е. Д. Отделяющиеся водоемы Белого моря: новый объект для междисциплинарных исследований // В сб. «Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии». Т. III. М.: 2011. С. 241–245.
5. Руководство по методам химического анализа поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 541 с.
6. 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.
7. Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н. М. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы. 2005. т.32. №5. С. 517–532.