

ОЗЕРА СОНОСТРОВА – ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ОЗЕР НА РАННЕЙ СТАДИИ ОТДЕЛЕНИЯ ОТ МОРЯ

Мироненко А.А.¹, Беляев Б.М.¹, Василенко А.Н.¹, Ефимов В.А.¹

В условиях наблюдающегося в постгляциальный период поднятия побережья Белого моря происходит постепенное обособление мелководных морских заливов и отделение их от моря. Данные процессы протекают на протяжении длительного времени, не менее нескольких веков, соответственно, на побережье может быть обнаружено множество водных объектов на разных стадиях «отшнуровки». В районе ББС МГУ им. Н.А. Перцова, на полуострове Киндо более 10 лет назад были впервые обнаружены такие водоемы и начаты их подробные гидробиологические исследования. С 2014 г. начали проводиться регулярные гидрологические экспедиции к этим уникальным объектам [Краснова и др., 2016; Vasil'chuk Y.K. et al., 2016].

В результате проведенных исследований водоемы окрестностей ББС МГУ были отнесены к одной из трех групп. В первую попали водоемы, давно утратившие связь с морем, полностью преобразовавшиеся в пресные озера с атмосферным питанием. Таковы озера Верхнее и Водопроводное, одно из которых является источником водоснабжения Беломорской биостанции МГУ. Ко второй группе относятся водоемы, расположенные в унаследованных от морских заливов котловинах, в которых присутствуют как соленые реликтовые морские водные массы, так и сформированные поверхностным и грунтовым стоком пресные. Различия в плотности водных масс препятствуют их перемешиванию. При этом, смена пресноводных условий на солоноводные происходит в слое толщиной менее 1 м. Вследствие отсутствия перемешивания, «проветривания» водоемов, в донных частях котловин формируются застойные зоны с постоянной соленостью и температурой, а также отсутствием растворенного кислорода. Фотосинтезирующие сообщества здесь вытеснены хемосинтезирующими. Это типичные меромиктические водоемы, наиболее известным из которых является Черное море с его глубоководным сероводородным горизонтом. В окрестностях ББС МГУ

¹ *Беляев Б.М., Василенко А.Н., Ефимов В.А., Мироненко А.А.* – МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, Москва.

это озера Трехцветное и Еловое. Третья группа – это так называемые «отшнуровывающиеся» водоемы. В них все еще наблюдается поступление соленых морских вод при значительном количестве поступающей пресной воды. На полуострове Киндо связь данных озер с морем происходит не постоянно, а лишь в период штормов, преимущественно осенних, когда происходит «заброс» воды, и при высоких приливах, предположительно, происходит просачивание соленых вод через перемычки. В отдельные сезоны года, например, в холодные зимы, связь этих водоемов с морем прекращается.

Таким образом, в районе ББС обнаружены 3 типа бывших морских заливов, при этом, не были найдены водоемы на самых ранних стадиях отделения. Для исследования начального этапа «отшнуровки» в сентябре 2017 г была проведена экспедиция к урочищу Соностров в южной части Кандалакшского залива. В состав экспедиции вошли сотрудники и студенты географического факультета МГУ и сотрудники ББС им. Перцова. Были впервые подробно исследованы 3 отделяющихся от моря водоема, расположенные на юго-восточном побережье Кандалакшского залива: лагуна в вершине губы Глубокой, озеро-лагуна Мероламбина и озеро Вонючее на острове Тонисоар (рис. 1).

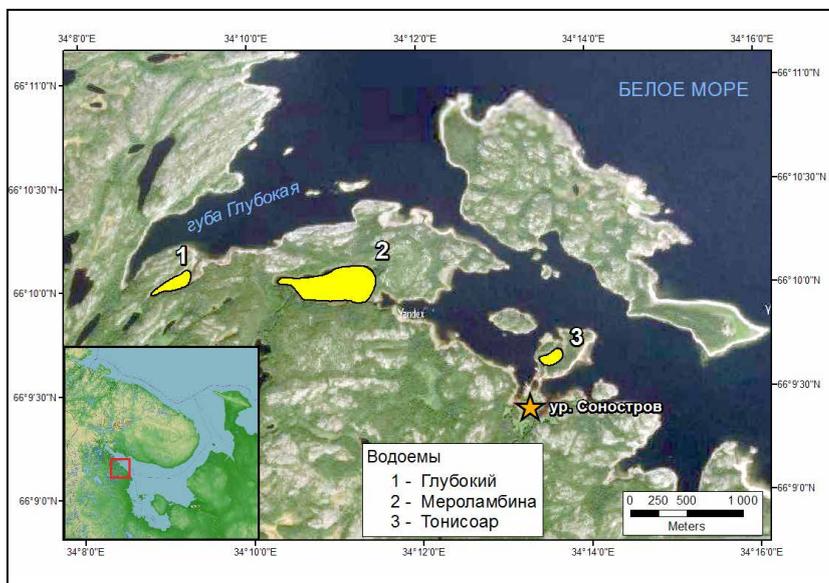


Рис. 1. Расположение исследованных озер

Исследованные водоёмы находятся на начальной стадии эволюции морского залива и его превращения в пресноводное озеро. Они заметно различаются по морфометрическим показателям, что оказывает влияние на их гидролого-гидрохимические характеристики. Площадь акватории оз. Мероламбина почти в 6 раз превышает площадь акватории лагуны в вершине губы Глубокой и в 10 раз – озера на о. Тонисоар. При этом оз. Тонисоар, глубины в котором достигают 10 и более метров – самый глубокий из исследованных водных объектов.

Озеро-лагуна Мероламбина характеризуется широким диапазоном солёности (в период исследований – от 1,9 до 17,3‰). Воды лагуны стратифицированы, что обусловлено как заметным воздействием речного стока, так и сильным влиянием приливов. Минимальные значения солёности характерны для поверхностного слоя воды толщиной 1–2,5 м. Распреснённые воды имеют пониженные значения рН и пониженную, относительно нижней лежащей водной массы, температуру, что обусловлено притоком более холодных пресных вод с водосбора. Поверхностный слой воды хорошо аэрирован (100% насыщения) благодаря активному перемешиванию. Водная масса, расположенная на глубинах 2,5–5 м практически однородна по всей толще водоема. Солёность вод постепенно возрастает, однако содержание кислорода, температура и рН воды изменяются незначительно. Эта водная масса, вероятно, представляет собой наследованную водную массу предыдущей фазы приливного цикла или предыдущего сезона. Ниже слоя 5,5–8 м залегает глубинная водная масса, теряющая кислород, что связано с процессами деструкции, которые, однако, идут менее интенсивно, чем в других исследованных водных объектах. Отсутствие сероводородного заражения позволяет микроорганизмам развиваться в придонных слоях озера. Для всей водной толщи характерно низкое, по сравнению с другими обследованными водными объектами, содержание фосфатов (как в растворенной, так и во взвешенной форме), а также общего фосфора, максимальная концентрация которого отмечена в придонных слоях водоема (58 мкг/л).

Лагуна в вершине губы Глубокой – водный объект с широким и высоким порогом. Постоянный приток пресной воды в лагуну почти в 100 раз меньше, чем в лагуну Мероламбина. В период исследований солёность водоема по глубине изменялась от 17,2 до 23,3‰, причем, в верхнем метровом горизонте происходило увеличение показателя на 2,7‰, а ниже (от 1 до 5 м) наблюдалась изогалия. На глубине

5–6 м вновь отмечен рост солености, а на горизонте 6–8 м – изогалия. Температура воды изменялась с 11,6 у поверхности до 4,6°С в придонных слоях. Содержание растворенного кислорода до глубины 5 м составило 95–80% насыщения, что обусловлено периодическим перемешиванием водной толщи и деятельностью фитопланктона. Однако, уже ниже 6 м отмечались признаки сероводородного заражения. В придонных слоях воды ощущался характерный запах, а значения Eh изменялись от 300 до –250, что свидетельствует о смене окислительных условий на восстановительные. Для разных зон водоема (с окислительными и восстановительными условиями) характерны и различия кислотности: от слабощелочной (8,2) до нейтральной (6,9). В отличие от оз. Мероламина, в водах лагуны Глубокой преобладающей формой фосфора оказались фосфаты (как растворенные, так и содержащиеся во взвеси). Концентрации минерального и валового фосфора с глубиной увеличились в 15 и более раз (от 15 у поверхности до более 400 мкг/л у дна). Накопление минерального фосфора в придонных слоях водоема происходит как ввиду отсутствия его потребления, так и поступления из донных отложений в условиях аноксии.

Характерные признаки меромиксии отмечены в воде озера Тонисоар, имеющего с морем ежедневную приливно-отливную связь. Распределение гидрологических характеристик этого водоема обнаружало заметное сходство с исследованным ранее озером-лагуной на Зелёном мысе в Кислой губе Белого моря [Краснова и др., 2016; Vasil'chuk Y.K. et al., 2016; Ефимова Л.Е. и др., 2015]. Соленость оз. Тонисоар 19–24‰. Верхний слой (до 2 м) находится под влиянием морских солёных вод, что приводит к его постоянному перемешиванию. Температура воды в нем постепенно возрастает с 10 до 12°С, содержание кислорода практически не меняется и составляет 100%, рН уменьшается в небольшом диапазоне от 8,1 до 7,9. На глубинах 2,5–3,5 м при высокой прозрачности воды (4,1 м по диску Секки) активно развиваются сообщества фотосинтезирующих организмов. Это граница фотического слоя. Отмечено увеличение концентрации O_2 до 122%, рост температуры до 14°С и незначительное возрастание рН. Ниже 3,5 м, в результате протекания процессов деструкции органического вещества происходит уменьшение рН с 7,9 до 7,3. Для нижележащей водной массы характерно постепенное уменьшение концентрации O_2 , температуры (до 4°С) и рН. На глубине 7,5 м отмечены смена окислительных условий на восстановительные и сероводородное заражение. Вертикальное распределение содержания форм фосфора схоже с их распределе-

нием в лагуне Глубокая, с той разницей, что до глубины 5 м фосфаты полностью отсутствуют, а концентрация валового фосфора составляет менее 15 мг/л и представлена органической формой, что, скорее всего, обусловлено деятельностью живых организмов. Отметим, что общее микробное число в воде оз. Тонисоар наибольшее среди всех исследованных озер. Оно максимально у поверхности и у дна (ок. 5×10^5 кл./мл; М.А. Летарова, личное сообщение). В лагунах Глубокая и Мероламбина отмечены величины на порядок меньше, за исключением горизонта 6,5 м (ниже хемоклина) в лагуне Глубокая, где значение данного показателя достигает почти 3×10^5 кл./мл.

В придонном слое оз. Тонисоар наблюдались концентрации фосфатов, достигающие 130 мкг/л, что почти в 2 раза ниже значений, отмеченных в придонных слоях лагуны Глубокая, органический фосфор также отсутствовал. Натурный эксперимент (методом трубок Романенко) показал, что потоки минерального фосфора направлены из донных отложений в воду. Минимальная величина потока характерна для лагуны Мероламбина (1,6 мг/л в сут.); максимальная (10,5 мг/л в сут.) – отмечена в оз. Тонисоар, где, как и в лагуне Глубокая обусловлена наличием аноксии.

В результате проведенных работ нами была исследована ранняя стадия отделения морских заливов от моря, перехода блокирующихся эстуариев в «отшнуровывающиеся» водоемы. По всей видимости, нам удалось наблюдать наиболее ранний этап жизни меромиктического озера. Все исследованные нами водоемы близки по своему осеннему гидрологическому состоянию к таковому о самого «молодого» из озер полуострова Киндо – лагуне на Зеленом мысе. При этом нами показано, что морфометрические характеристики озера и водосбора оказывают значительное влияние на стратификацию таких водных объектов, положение в них хемоклина, величины пресных и соленых слоев, а также пресных и соленых водных масс.

На сегодняшний день, мы можем провести эволюционную линию от озера-лагуны Мероламбина к лагуне в вершине губы Глубокой, затем к озерам Тонисоар и лагуне на Зеленом мысе. Последние очень близки между собой. Возможно, в будущих экспедициях будут найдены новые промежуточные стадии.

Также, показано, что в формировании гидрологической структуры лагуны Мероламбина заметная роль принадлежит речному стоку, поступление которого, наряду с влиянием приливов, противодействует формированию в нем меромиксии.

Развитие аноксии в придонных слоях стратифицированных водоемов создает условия для поступления минерального фосфора из донных отложений в воду и накопление при отсутствии его потребления.

Работа поддержана РФФИ (грант №16-05-00548-а).

Литература

- [1] *Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А. и др.* Исследования отдельных водоемов на побережье Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов. Труды Беломорской биостанции МГУ, т. 12. — М.: Т-во научных изданий КМК, 2016. — С. 211–241.
- [2] *Vasil'chuk Y.K., Frolova N.L., Krasnova E.D. et al.* Water isotopic geochemical composition in the Trekhtsvetnoe meromictic lake on the White Sea coast // *Water Resources*. 2016. V. 43. №5. — P. 828–838.
- [3] *Ефимова Л.Е., Фролова Н.Л., Краснова Е.Д. и др.* 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.