

Геологический институт РАН
Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова
Российский фонд фундаментальных исследований

ПОЗДНЕ- И ПОСТГЛЯЦИАЛЬНАЯ ИСТОРИЯ БЕЛОГО МОРЯ: ГЕОЛОГИЯ, ТЕКТОНИКА, СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ОБСТАНОВКИ, ХРОНОЛОГИЯ

**Материалы Всероссийской научной конференции.
Сборник статей**



ГИН РАН, ББС МГУ
(пос. Приморский, Лоухский район,
Республика Карелия)

14–22 сентября 2018 г.



УДК 551.242.2

ББК 26.324

М34

Издание подготовлено при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-05-20050)

М34 Материалы Всероссийской научной конференции «Поздне- и постгляциальная история Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология»: сборник статей. – М.: «КДУ», «Университетская книга», 2018. – 196 с.

ISBN 978-5-91304-855-4

В сборник включены статьи, подготовленные участниками всероссийской научной конференции «Поздне- и постгляциальная история Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология», проходившей на Беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова 14–22 сентября 2018 г. Представлены результаты научных исследований, посвященных геологии и тектонике Беломорского региона, динамике уровня Белого моря в голоцене, береговым процессам, палеоэкологическим реконструкциям, следам древних и исторических землетрясений Беломорья, седиментационным процессам, а также гидрологической эволюции и экологической сукцессии в водоемах, отделяющихся от Белого моря в ходе постгляциального поднятия берега.

The Proceedings book includes articles prepared by the participants of the All-Russian Scientific Conference «The Late-and Postglacial History of the White Sea: Geology, Tectonics, Sedimentation Environments, Chronology», held at the White Sea Biological Station n. a. N.A. Pertsov, of the Biological Faculty of Moscow State University, in September 14–22, 2018 The results of scientific research on geology and tectonics of the White Sea region, the dynamics of the White Sea level in the Holocene, coastal processes, paleoecological reconstructions, traces of ancient and historical earthquakes of the White Sea coast, sedimentation processes, as well as hydrological evolution and ecological succession in the meromictic lakes separated from the White Sea during the postglacial raising of the coast are presented in the Conference papers.

УДК 551.242.2

ББК 26.324

© ГИН РАН, 2018

© БС МГУ, 2018

© «КДУ», 2018

ISBN 978-5-91304-855-4

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).

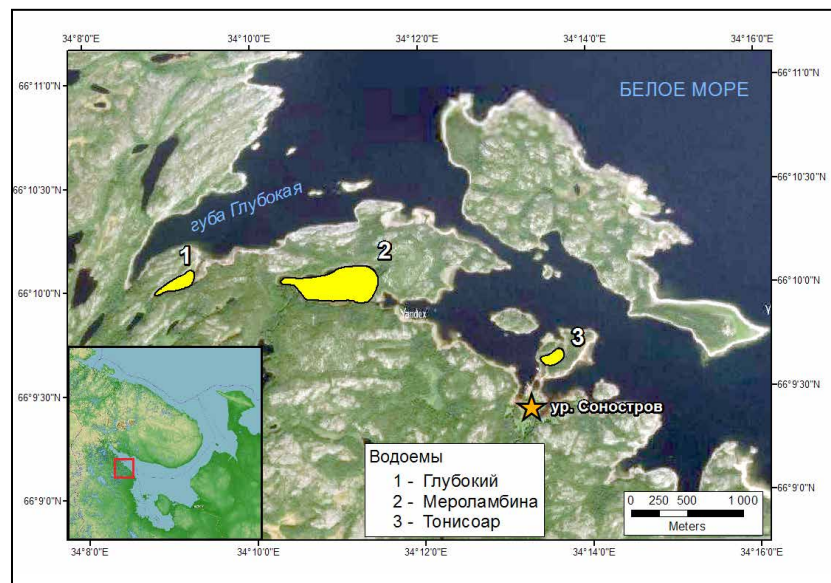


Рис. 1. Расположение исследованных озер

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 pH и пониженную, относительно ниже 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 pH 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 залегают 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 лагуны почти в 100 раз меньше, чем в лагуны 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. Меролампина, 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 обнаружилось 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 распределением

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 озёр. Оно максимально у поверхности и у дна (ок. 5×10^5 кл./мл; М.А. Летарова, личное сообщение). В лагунах Глубокая и Меролампина 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 Меролампина (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 у самого «молодого» из озёр полуострова Киндо – лагуны 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 Меролампина к лагуны в вершине губы Глубокой, затем к озерам Тонисоар и лагуны 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 Меролампина 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.