

ВАЖНЕЙШИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ ВОДОЕМА ПРИ ЕГО ИЗОЛЯЦИИ ОТ МОРЯ НА ПРИМЕРЕ ПРИБРЕЖНЫХ БЕЛОМОРСКИХ ОЗЕР И ЛАГУН

Краснова Е.Д.¹, Воронов Д.А.², Мардашова М.В.³

В результате постгляциального поднятия берега некоторые заливы могут отделяться от Белого моря и превращаться в полуизолированные водоемы, которые характеризуются устойчивой вертикальной стратификацией за счет сосуществования слоев с разной соленостью – меромиксией [Пантюлин, Краснова, 2011; Краснова и др., 2016]. На побережье Кандалакшского залива мы обследовали множество прибрежных озер, из которых 14 оказались меромиктическими. Придонный слой в таких водоемах представляет собой морскую воду, захваченную до их изоляции или поступающую из моря с разной периодичностью, зависящей от высоты порога, который отделяет водоем от моря.

По мере нарастания изоляции водоем эволюционирует от морского залива с равномерно перемешанной морской водой к соленой стратифицированной лагуне с асимметричными приливами, проходит через стадию меромиктического озера с реликтовой соленой водой на дне, и, в конечном счёте, превращается в пресное озеро со слоистыми донными осадками, отражающими всю предыдущую историю водоема. По данным Д.А. Субетто с коллегами [2012], у нынешних пресных озер на Соловецких островах меромиктическая стадия длилась два-четыре столетия.

Типовая гидрологическая структура такого водоема состоит из: 1) миксолимниона с соленостью меньшей, по сравнению с нижележащей водной массой, вплоть до полного опреснения, 2) галоклина; 3) гиполимниона с беломорской соленостью, а иногда и более высокой. Соленый гиполимнион, в свою очередь, подразделяется на верхний аэробный слой, в котором содержание кислорода мо-

¹ *Краснова Е.Д.* – МГУ им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва.

² *Воронов Д.А.* – Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича; Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н.Белозерского, Москва.

³ *Мардашова М.В.* – Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва.

жет превышать уровень насыщения и доходить до 200–300% насыщения, и нижний анаэробный с сероводородом. Его концентрация порой доходит до значений, рекордных для природных водоемов морского происхождения — 600–900 мг/л [Losyuk et al., 2015]. Зоны с высоким содержанием кислорода и с сероводородом обычно разделяют всего 10–30 см, и разность окислительно-восстановительных потенциалов между ними может составлять до 0,5 вольт. Два главных химических антагониста, определяющих разделение соленого гипоплимниона на две контрастные зоны, кислород и сероводород, имеют автохтонное биогенное происхождение. Насыщение кислородом происходит в результате фотосинтеза фитопланктона, а сероводород производят бактерии-сульфатредукторы, восстанавливая серу из сульфата морской воды до сульфид-иона. В разделительной градиентной зоне (хемоклине) обычно формируются цветные прослойки воды, окрашенные за счет массового развития фотосинтезирующих микроорганизмов [Krasnova et al., 2015]. Они поглощают остатки света, которые дошли до этой глубины, в результате чего ниже свет не проникает.

Таким образом, хемоклин разделяет водные массы с весьма контрастными свойствами. И это не только термохалинные характеристики. Ниже хемоклина складываются афотические условия; в отсутствие солнечного прогрева там низкая температура, постоянная в течение всего года. Так первичную гидрологическую структуру из трех слоев — опресненного поверхностного, нижнего соленого и пикноклина, микроорганизмы превращают в пятислойную, разделяя соленый гипоплимнион на еще три слоя: аэробный, анаэробный и хемоклин. Из четырех геохимических барьеров (поверхность воды, пикноклин, хемоклин и дно) три имеют абиогенное происхождение, а (хемоклин) — биогенное.

Распределение донных организмов также следует физико-химическим особенностям слоев водоема. В поверхностном слое состав фауны зависит от его солености: если он пресный, то в нем обитают пресноводные организмы, если соленый — то морские. В аэробной части гипоплимниона обитает обедненная морская фауна, в основном соответствующая типичному для литорали и верхней сублиторали Белого моря сообществу *Macoma balthica*. По мере отделения, происходит дальнейшее обеднение сообщества, в первую очередь, за счет выпадения инфауны. По мере снижения роли крупных двусторчатых моллюсков, преобладающими формами становятся брюхоногий моллюск *Peringia ulvae* и личинки комаров-звонцов (Chironomidae). На более поздних стадиях отделения основу биомассы бентоса со-

ставляют личинки насекомых, к которым еще позднее присоединяются пресноводные моллюски. Максимумы обилия массовых форм, а также максимум суммарной биомассы всего бентоса приходится на пояс, контактирующий со слоем воды с повышенным содержанием кислорода [Мардашова и др., 2017].

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

Литература

- [1] *Краснова Е. Д., Воронов Д. А., Демиденко Н. А., Кокрятская Н. М., Пантюлин А. Н., Рогатых Т. А., Самсонов Т. Е., Фролова Н. Л., Шапоренко С. И.* К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов, в. 12. Труды Беломорской биостанции МГУ. — М.: Т-во науч. изданий КМК, 2016. — С. 211–241.
- [2] *Мардашова М. В., Краснова Е. Д., Воронов Д. А.* Характеристика бентосных сообществ отделяющихся водоемов окрестностей ББС МГУ (Кандалакшский залив Белого моря) // Труды VI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU — 2017)». — М.: ПолиПРЕСС, 2017. — С. 427–431.
- [3] *Пантюлин А. Н., Краснова Е. Д.* Отделяющиеся водоемы Белого моря: новый объект для междисциплинарных исследований // Геология морей и океанов. Мат-лы XIX Межд. науч. конф. (Школы) по морской геологии, в. 3. — С. 241–245. — М.: ГЕОС, 2011.
- [4] *Субетто Д. А., Шевченко В. П., Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Лисицын А. П., Евзеров В. Я., П. ван Беек (P. van Beek), Суо М. (M. Souhaut), Субетто Г. Д.* Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления Докл. Акад. Наук, сер. «Геол.», 2012, т. 446, №2. — С. 183–190.
- [5] *Krasnova, E. D., Kharcheva, A. V., Milyutina, I. A., Voronov, D. A., Patsaeva, S. V.* Study of microbial communities in redox zone of meromictic lakes isolated from the white sea using spectral and molecular methods // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 95(8):1579–1590, 2015.
- [6] *Losyuk, G., Kokryatskaya, N., Krasnova, E.* Formation of hydrogen sulfide in isolated basins at the Karelian coast of the White Sea // EARSel eProceedings, 14:49–54, 2015.