



**ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА
БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БЕЛОГО МОРЯ**



УДК 592: 574.52 (268.46)

Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря. – СПб, 2017. 274 с.

Сборник включает материалы устных и стендовых сообщений, представленных на XIII Всероссийскую конференцию с международным участием «Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря», приуроченную к 60-летию основания полевого стационара Беломорской биологической станции ЗИН РАН Мыс Картеш. Основные темы, затронутые на конференции – климат и тенденции наблюдаемых изменений; гидрохимия и водный баланс Белого моря; структура, функционирование и продуктивность экосистем Белого моря; биоразнообразиие, таксономия и морфология растений и животных Белого моря; экология, физиология, биохимия и генетика беломорских организмов; состояние воспроизводства, запасов, марикультура и динамика вылова промысловых биоресурсов Белого моря и впадающих в него рек; социально-экономическое развитие Беломорья. Кроме того, представлены доклады об истории, развитии и работе морских биостанций, а также ретроспективные обзоры научных направлений на Беломорской биологической станции Мыс Картеш.

Сборник предназначен для гидрологов, экологов, гидробиологов, ихтиологов, работников рыбодобывающих и природоохранных организаций, специалистов в области аквакультуры и студентов соответствующих специальностей.

Главный редактор:

Директор Зоологического института академик РАН *О. Н. Пугачев*

Ответственный редактор:

Заведующий Беломорской биостанцией ЗИН РАН *А. А. Сухотин*

*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту № 17-04-20562*



ВОДОЕМЫ, ОТДЕЛЯЮЩИЕСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ: РАЗНООБРАЗИЕ И ТИПОВАЯ СТРУКТУРА

Е.Д. Краснова

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия

e-mail: e_d_krasnova@wsbs-msu.ru

С 2010 г. на Беломорской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова развернуты исследования прибрежных соленых озер, которые сформировались путем отделения от Белого моря (Краснова и др., 2016). Процесс изоляции связан с послеледниковым подъемом берега Белого моря, которое продолжается в наши дни со скоростью около 30 см за столетие. На дне современных пресных озер беломорского бассейна находят морские осадки, которые свидетельствуют об их былой связи с морем (Романенко, Шилова, 2012), а непосредственно в береговой зоне можно найти меромиктические водоемы на промежуточных стадиях изоляции от моря. Конвективное перемешивание в них ограничено верхним слоем, который получил название «миксолимнион», а в нижней водной массе («монимолимнионе») наблюдается застой.

Меромиктические озера широко распространены по всему земному шару. Наиболее подходящие условия для их возникновения складываются в засушливых районах (например, оз. Шира и оз. Шунет в Хакасии), в районах с глубокими озерами карстового и вулканического происхождения (оз. Павин во Франции, оз. Светлое в Архангельской области, оз. Каданьо в Швейцарии), в областях, некогда освободившихся от моря в результате его регрессии (Антарктида), а также на морских побережьях с извилистой береговой линией (побережье Канады, Скандинавии, Камчатки, Сахалина, Белое море).

В результате обследования береговой линии Кандалакшского залива Белого моря мы обнаружили 16 водоемов, частично изолированных от моря, с признаками меромиксии.

Пять из них расположены вблизи Беломорской биостанции МГУ: озера Кисло-Сладкое, Трехцветное, Еловое, Нижнее Ершовское и лагуна на Зеленом мысе; на о. Оленьем в губе Ковда находится самое большое меромиктическое озеро Большие Хрусломены; 4 водоема найдено в вершине Кандалакшского залива: три лагуны на о. Телячьем (Кандалакшский заповедник) и оз. Савино-Канозеро в черте г. Кандалакша; один водоем есть в губе Чупа (оз. Вонючее напротив д. Пулоньга) и три на Карельском берегу в районе о. Соностров: губа Глубокая, оз. Мероламбина и оз. Вонючее на о. Тонисоар.

Обычно это маленькие водоемы (несколько га) с небольшой глубиной (от 2 до 10 м), которая, однако, достаточна для формирования контрастных водных масс. Исключение составляет оз. Б. Хрусломены глубиной 20 м. Каждый водоем отгорожен от моря узким мелководным порогом, вследствие чего приливные явления ослаблены или вовсе отсутствуют. В некотором смысле это реликтовые водоемы, поскольку со времен, когда водоем имел связь с морем, сохранилась придонная соленая водная масса. Именно так называли подобные водоемы исследователи Беломорской методической станции Государственного гидрологического института (Гурвич, Соколова, 1939).

Еще один похожий тип объектов, широко распространенный в Белом море – ковшовые губы. Так называют акваторию, отделенную от моря мелководным порогом, который не препятствует приливам, что не позволяет образоваться опресненному поверхностному слою, а вместе с ним и некоторым гидрологическим особенностям, возникающим на следующих этапах изоляции.

В числе таких особенностей – пятислойная вертикальная структура с двумя геохимическими барьерами: 1) пикноклином между опресненной и соленой водными массами и 2) редокс-зоной на границе аэробных и анаэробных условий (рис. 1).

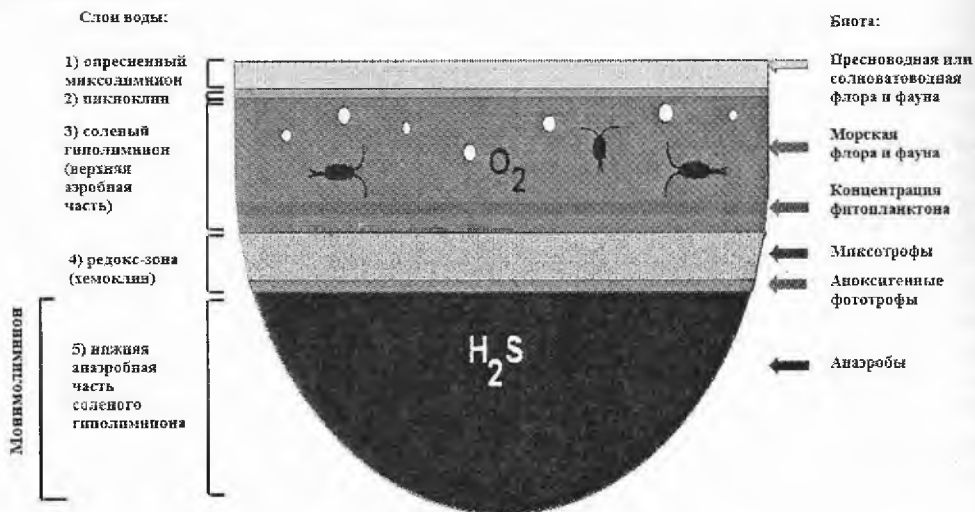


Рис. 1. Типовая вертикальная структура водоемов, отделяющихся от Белого моря.

Миксолимнион, подверженный ветровому перемешиванию в летнее время, в большинстве водоемов имеет толщину 1 м. В более крупном оз. Б. Хрусломены он доходит до 2 м. Мы называем этот слой «опресненным», имея в виду, что соленость в нем ниже по сравнению с нижележащей водной массой. Нередко он, действительно, практически пресный (0.1–0.5‰), но чаще представляет собой в разной степени разбавленную морскую воду. В оз. Кисло-Сладком, при солености основной толщи более 23‰, возле поверхности соленость колеблется от 10‰ после схода льда до 22‰ осенью перед ледоставом. В лагуне на Зеленом мысе, куда на каждом приливе вода в течение 30–40 мин поступает из моря и несколько часов вытекает обратно, соленость такая же, как в море (21–24‰). Однако, начиная с 2 м, она возрастает до 27–29‰, что превышает уровень солености в ближайших окрестностях.

Пикноклин толщиной около 0.5 м характеризуется резким градиентом солености. В большинстве континентальных меромиктических озер пикноклин одновременно служит границей раздела аэробной и анаэробной зон, однако в изучаемых нами водоемах редокс-граница расположена ниже пикноклина. Между двумя этими геохимическими барьерами располагается соленая водная масса, насыщенная кислородом, а порой пересыщенная им до 200–300%.

В летнее время соленый аэрированный слой нередко оказывается самым теплым, из-за аккумуляции тепла по принципу «солнечного соляного пруда». В водоемах, подверженных регулярным приливам, соленый аэробный слой больше, чем в изолированных (1–2,5 м). В наиболее изолированном озере Трехцветном пикноклин и редокс-клин накладываются друг на друга, однако между пресным поверхностным слоем и границей сероводородной зоны есть 10–20 см солоноватой (4–5%) воды, где численность и биомасса фитопланктона достигают наибольших величин, и может накапливаться кислород, нарабатанный в ходе окислительного фотосинтеза.

Хемоклин (редокс-зона), где аэробные условия сменяются анаэробными, в беломорских прибрежных озерах имеет толщину 0,2–0,5 м. В летнее время в нем формируются ярко окрашенные слои за счет массового развития фототрофных микроорганизмов. Нередко он состоит из двух прослоек. В верхней части, где условия микроаэробные, а если и анаэробные, то концентрация сероводорода еще невелика, находится зона миксотрофных микроорганизмов. В некоторых озерах это криптофитовые жгутиконосцы, например – морские *Rhodomonas* sp. (Краснова и др., 2014) которые при массовом развитии придают воде ярко-красный цвет, или олигогалобные *Cryptomonas* sp., дающие розоватую окраску; в других озерах это эвгленовые жгутиконосцы, и соответствующий слой зеленоватый. Ниже границы аэробных и анаэробных условий, как правило, образуется высокоплотное сообщество аноксигенных фототрофных бактерий, с лидирующей ролью зеленых серобактерий (Lunina et al., 2016; Kharcheva et al., 2016). На ранних этапах изоляции в сообществе зеленых серобактерий велика доля коричнево-окрашенных, и цвет бурый; в наиболее продвинутых озерах преобладают зелено-окрашенные, и слой густо-зеленый. Численность, биомасса микроорганизмов и показатели интенсивности бактериальных процессов здесь существенно превышают таковые в выше- и нижележащих слоях (Саввичев и др., 2014).

Цветные слои располагаются ниже глубины, до которой доходит 1% света, т. е. ниже глубины компенсации, где кислорода в ходе фотосинтеза образуется столько же, сколько расходуется на дыхание.

Ниже хемоклина располагается анаэробная зона с высоким содержанием сероводорода, метана, органических веществ и биогенных элементов, и афотическими условиями. Сезонные колебания физико-химических параметров здесь минимальны. Обмен теплом и веществами с вышележащими слоями ограничен диффузией. Здесь формируется сообщество сапротрофных и хемотрофных микроорганизмов.

Распределение донной фауны соответствует зональности водной толщи. Глубины, которые приходится на опресненный слой, заселены бентосными формами, соответствующими его солёности. Например, в лагуне на Зеленом мысе, где поверхностный слой имеет морскую солёность, бентос представлен морскими формами, в оз. Кисло-Сладком с переменной солёностью – эвригаллиными, а в оз. Трехцветном и Н. Ершовском с пресным миксолимнионом – пресноводными. Соленому аэробному слою, если его толщина позволяет развиваться сообществу, соответствует обедненная морская фауна, но в большинстве озер он слишком узкий. С хемоклина начинается безжизненная анаэроб-

ная зона, где встречаются лишь немногие представители Nematoda и случайно вынесенные с мелководий и обреченные на гибель беспозвоночные-аэробы.

Исследование поддержано грантом РФФИ № 16-05-00548а.

Список литературы

Гурвич Г.С., Соколова Е.В. 1939. К познанию реликтовых водоемов Белого моря. // Труды ГГИ, вып. 8, № 15: 142–161.

Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л. 2016. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря. // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов. Труды Беломорской биостанции МГУ, Т. 12.: 211–241.

Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н., Тодоренко Д.А., Белевич Т.А., Милютин И.А., Воронов Д.А. 2014. Цветение криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta, Rhodomonadaceae) в редокс зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря. // Микробиология, т. 83, №3: 346–354.

Романенко Ф.А., Шилова О.С. 2012. Последлениковое поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-болотных отложений полуострова Киндо. // Доклады Академии наук, т. 442, № 4: 544–548.

Саввичев А.С., Лунина О.Н., Русанов И.И., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф., Иванов М.В., 2014. Микробиологические и изотопно-геохимические исследования озера Кисло-Сладкое – меромиктического водоема в Кandalakшском заливе Белого моря. // Микробиология, т. 83, № 2: 191–203.

Kharcheva A.V., Krasnova E.D., Gorlenko V.M., Lunina O.N., Savvichev A.S., Voronov D.A., Zhiltsova A.A., Patsaeva S.V. 2016. Depth profiles of spectral and hydrological characteristics of water and their relation to abundances of green sulfur bacteria in the stratified lakes of the White Sea. // Proceedings of SPIE, 9917: 99170Q–1–99170Q–16.

Lunina O.N., Savvichev A.S., Krasnova E.D., Kokryatskaya N.M., Veslopolova E.F., Kuznetsov B.B., Gorlenko V.M. 2016. Succession processes in the anoxygenic phototrophic bacterial community in Lake Kiso-Sladkoe (Kandalaksha Bay, White Sea). // Microbiology, V. 85, № 5: 531–544.