

**Краснова Е.Д.<sup>1</sup>, Воронов Д.А.<sup>2,3</sup>**

(<sup>1</sup>Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: e\_d\_krasnova@mail.ru; <sup>2</sup>Институт проблем передачи информации РАН, Москва;

<sup>3</sup>Институт физико-химической биологии им. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва)

**Подводное меромиктическое озеро в бухте Биофильтров  
(Белое море, Кандалакшский залив, окрестности  
Беломорской биостанции МГУ)**

**Krasnova E.D.<sup>1</sup>, Voronov D.A.<sup>2,3</sup>**

(<sup>1</sup>Biological Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow; <sup>2</sup>A.Kharkevich

Institute for Information Transmission Problems of RAS, Moscow; <sup>3</sup>A.N.Belozersky

Institute of Physico-Chemical Biology of Lomonosov Moscow State University, Moscow)

**Underwater meromictic lake in the Bay of Biofilters (White  
Sea, Kandalaksha Bay, surroundings of the White Sea  
Biological Station of Moscow State University)**

Ключевые слова: меромиктический водоем, ковшовая губа, аноксигенные фототрофные бактерии, бухта Биофильтров, Белое море

Летом 2019 г. при обследовании ковшовой бухты Биофильтров, расположенной в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ, было обнаружено подводное меромиктическое озеро с сероводородом в нижних 5 м и слоем розового цвета с пурпурными серными бактериями на глубине 9-9,5 м.

На Беломорской биостанции МГУ развернуты междисциплинарные исследования прибрежных стратифицированных лагун. Эти водоемы возникли благодаря быстрому поднятию берега, которое началось после таяния ледника и продолжается до сих пор. От обычных морских заливов и пресноводных озер, в которые, в конечном счете, они превращаются, эти водоемы отличаются плотностным градиентом в столбе воды, устойчивой вертикальной стратификацией и сероводородным придонным слоем [1].

В настоящее время известно более двух десятков водоемов, находящихся на разных стадиях изоляции от моря. На начальной стадии такой водоем представляет собой ковшовую губу. В числе ковшовых губ, которые удостоились внимания ученых – губа Долгая на Большом Соловецком острове [2], губа Лов [3], залив Бабы море [4], Палкина губа, Колвица [5], Канда. В ближайших окрестностях Беломорской биостанции МГУ тоже есть несколько ковшовых губ: Лобаниха (о. Великий, Кандалакшский государственный заповедник), кут губы Кислой [6]. Летом 2015 г. мы обследовали бухту Биофильтров, которую также нужно отнести к числу ковшовых.

Бухта Биофильтров расположена на южном берегу полуострова Киндо и обращена к Чернореченской губе. Координаты: 66°32' 20" N, 33°10'10" E. В плане губа имеет треугольную форму с вершиной, вдающейся в материк на 300 м и широким выходом к морю (500 м). Губа не имеет сужения на выходе и не похожа на фиорд, а также не имеет отмели на выходе. Тем не менее – она ковшовая, поскольку параллельно скалистому восточному берегу на расстоянии около 50 м от него по дну проходит желоб глубиной 14–15 м, окруженный более мелким широким плато до 4–5 м глубиной.

Хотя бухта никак не изолирована от моря, в желобе сформировалась вертикальная стратификация, типичная для беломорских отделяющихся водоемов (рис.) с характерными для нее градиентами.

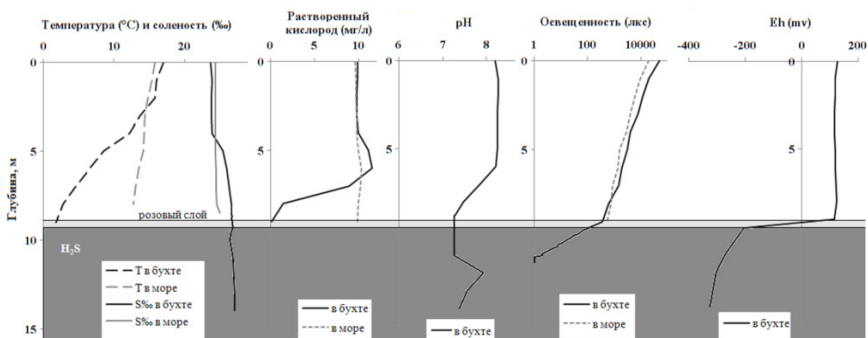


Рисунок. Профили физико-химических параметров в бухте Биофильтров 25 июля 2019 г.

Сравнивая профили физико-химических параметров в бухте и в открытом море, можно заметить, что различия касаются главным образом тех глубин, которые находятся ниже уровня порога. Соленость в верхних 4 м воды в бухте такая же, как в море, но ниже 4 м она повышается и возле дна превышает 27‰, что характерно для морских вод в зимнее время. Ниже 4 м в бухте расположен резкий термоклин, тогда как в море температура уменьшается ко дну незначительно и плавно. О том, что в желобе сохраняется зимняя вода, свидетельствует также ее температура: на глубине 9 м, до которой мог дотянуться кабель нашего зонда-кондуктометра, она составляла 1,8°C, и вполне вероятно, что шестью метрами ниже, возле дна, температура воды отрицательная.

Нижние 5,5 м желоба заражены сероводородом. Распространение кислорода ограничено глубиной 8 м, окислительно-восстановительный потенциал меняется с положительного на отрицательный между 8,7 и 8,8 м. Там же резко уменьшается освещенность, в результате чего в между 10 и 11

условия сильно затененные, а глубже 11 м свет не проникает вовсе.

Под пикноклином на глубине 6–8 м отмечено массовое развитие фитопланктона – мелких кокков с диаметром клеток около 2 мкм, более крупных кокков с диаметром 5–9 мкм и мелких зеленых жгутиконосцев. В зоне с обильным фитопланктоном повышена концентрация кислорода.

Ниже глубины 8 м начинался хемоклин – переходная зона между аэробными и анаэробными условиями, а граница перехода от окислительных условий к восстановительным маркирована прослойкой слабо-розового оттенка. 25 июля 2019 г. розовый слой располагался на глубине 9-9,5 м, его глубина менялась в зависимости от фазы приливо-отливного цикла, поскольку в прилив толща воды над ним увеличивается, а в отлив – уменьшается.

В архиве своих материалов мы нашли результаты съемки, сделанной в этой бухте ровно шесть лет назад – 24 июля 2013 г., тогда розовый слой был зарегистрирован на глубине 11 м, то есть граница сероводородного слоя была на два метра ниже. С чем связаны эти различия: с тем, что в 2013 году пробы отбирали при высоком стоянии воды, или это многолетняя динамика? Ответить на этот вопрос мы пока не можем, но понятно, что наблюдения нужно продолжать.

В меромиктических водоемах на границе аэробной и анаэробной зон, как правило, возникает прослойка с анкисигенными фототрофными бактериями. Во всех известных нам стратифицированных водоемах на побережье Белого моря этот слой образован зелеными серными бактериями *Chlorobium phaeovibrioides*. В одних водоемах хемоклин имеет зеленый цвет, если это зелено-окрашенная форма бактерий этого вида, в других – красноватый, если форма коричнево-окрашенная. В меромиктических озерах других географических районов красноватый цвет воды на границе анаэробной зоны нередко придают пурпурные серобактерии. В беломорских отделяющихся водоемах пурпурные серные бактерии всегда малочисленны и не вносят значимого вклада в сообщество и его окраску [7, 8, 9]. В беломорско-баренцевоморском регионе лишь в озере Могильном на о. Кильдин в Баренцевом море в начале XX века розовую прослойку создавали пурпурные бактерии, но и в нем с 1970-х годов доминируют зеленые серные бактерии.

В пробах из бухты Биофильтров обнаружены крупные бактериальные клетки (3-7 мкм) продолговатой формы с темными зернами внутри (по всей вероятности – серы), а также мелкие бактерии. Крупные клетки могут принадлежать пурпурным серным бактериям, тогда как мелкие могут быть как фототрофными, в том числе *Chlorobium*, размер которых обычно не превышает 1 мкм, так и гетеротрофными. В спектрах поглощения света есть отчетливое плечо в дальней красной области, которое может свидетельствовать о присутствии пурпурных серобактерий. В пробе с

глубины 9 м плечо в дальней красной области было выше, а на глубине 9,4 м оно было ниже, смещено в сторону меньших длин волн и по форме больше напоминало спектр поглощения света зелеными серными бактериями. Вполне вероятно, что на разной глубине доминируют разные фототрофные бактерии, и пурпурные как более устойчивые к присутствию небольшого количества кислорода занимают верхний этаж с положительным окислительно-восстановительным потенциалом, а строгие анаэробы *Chlorobium* – нижний, в зоне отрицательного Eh.

Обнаружив слой с серобактериями в хемоклине, мы нашли подтверждение гипотезе, которая была высказана шесть лет назад после того как подводный фотограф во время зимнего погружения обнаружил в придонном слое белый подводный «дым», о том, что белая взвесь – это сера, высвободившаяся из клеток серных бактерий после их гибели [10].

Бухта Биофильтров – первый в беломорском регионе водоем, в хемоклине которого доминируют пурпурные серные бактерии. Эта бухта дополняет ряд водоемов, в разной степени изолированных от Белого моря, самой ранней стадией, когда изоляции от моря еще нет, а есть только понижение донного рельефа. Прежде мы выявили закономерность о смене доминирующей формы анаэробных фототрофов в ходе прогрессирующей изоляции. Она начинается с коричневоокрашенных зеленых серных бактерий, характерных для водоемов, имеющих регулярную связь с морем, за ней следует стадия меромиктического озера с пресным миксолимнионом, в хемоклине которых доминирует зеленоокрашенная форма. Теперь этот ряд дополнен еще более ранней стадией с пурпурными серными бактериями.

Особенность беломорских ковшовых губ – наличие холодной водной массы, хранимой в донном понижении, где складываются условия для развития арктической фауны. Однако в бухте Биофильтров кислород до дна не доходит, и возникло сероводородное заражение. По предположению первых исследователей беломорских реликтовых водоемов, нарушение кислородного режима и появление сероводорода возникает при соотношении глубин порога и водоема не менее 1:12 [11]. В бухте Биофильтров это соотношение меньше (6:15), и повода для дефицита кислорода быть не должно. Почему в желобе застаивается и не обновляется зимой вода, чем, в этом отношении, бухта Биофильтров отличается от остальных ковшовых губ, пока остается загадкой.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 19-05-00377).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А. и др. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от 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 Москва, 2016. С. 211–241.
2. Нинбург Е. А. Долгая губа: изоляция естественная и искусственная // Природа. 1990. № 7. С. 44–49.
  3. Наумов А.Д. Донная фауна губы Лов (Белое море, Кандалакшский залив) и ее особенности // Экология донного населения шельфовой зоны. М., 1979. С. 128–136.
  4. Наумов А.Д. Предварительные соображения о темпах водообмена Бабьего моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны. Геология, гидрология, биота: изменения на фоне трансгрессии берегов. Тр. Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2016. С. 67–73.
  5. Наумов А.Д., Бабков А.И., Федяков В.В. Биоценозы губы Колвица Кандалакшского залива Белого моря. // Экологические исследования донных организмов Белого моря. Л., 1986. С. 91–122.
  6. Столяров А. П., Мардашова М. В. Особенности структуры и разнообразие сообществ макробентоса в прибрежных лагунных экосистемах (Кандалакшский залив, Белое море // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2017. Т. 122. № 3. С. 18–27.
  7. Лунина О.Н., Саввичев А.С., Краснова Е.Д. и др. Сукцессионные процессы в сообществе анаэробных фототрофных бактерий озера Кисло-Сладкое (Кандалакшский залив Белого моря) // Микробиология. 2016. Т. 85. №5. С. 531–544.
  8. Жильцова А.А., Харчева А.В., Краснова Е.Д. и др. 2018. Спектральное исследование зеленых серных бактерий в стратифицированных водоемах Кандалакшского залива Белого моря // Оптика атмосферы и океана. Т. 31. № 3. С. 233–239.
  9. Лунина О.Н., Саввичев А.С., Бабенко В.В. и др. Сезонные изменения структуры сообщества анаэробных фототрофных бактерий меромиктического озера Трехцветное (Кандалакшский залив Белого моря) // Микробиология. 2019. Т. 88. № 1. С. 100–115.
  10. Краснова Е.Д. Белые реки в Белом море // National Geographic Россия. 2013. № 6. С. 50.
  11. Гурвич Г.С., Соколова Е.В. К познанию реликтовых водоемов Белого моря. Труды ГГИ. 1939. Вып. 8. № 15. С. 142–163.

Underwater meromictic lake with hydrogen sulfide in the lower 5 m of depth and a pink layer with purple sulfur bacteria at a depth of 9-9.5 m was discovered in the bottom depression of the bay of Biofilters in vicinity of the White Sea Biological Station of Moscow State University in summer 2019.



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ  
ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН

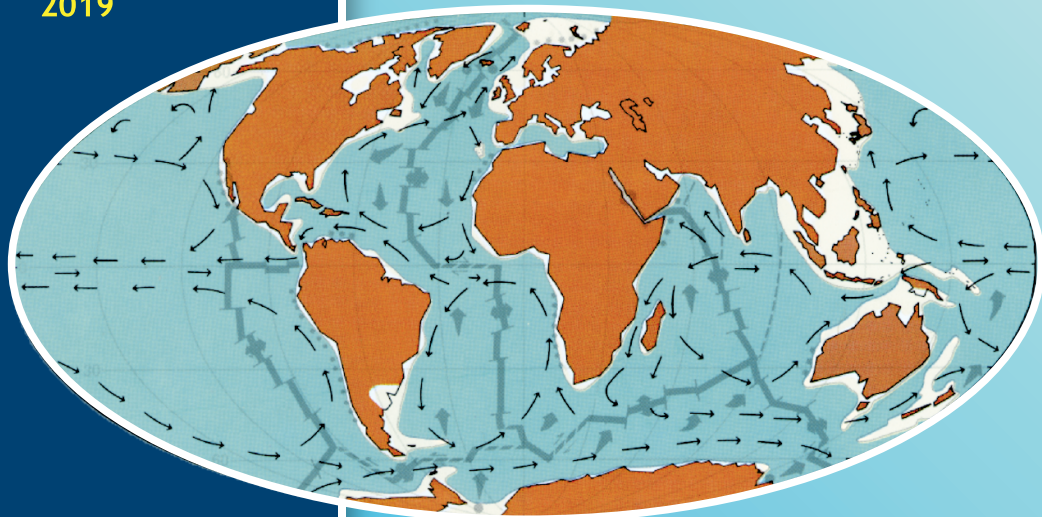


Материалы  
XXIII  
Международной  
научной  
конференции  
(Школы)  
по морской  
геологии

# ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

## Том III

Москва  
2019



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН**

**ГЕОЛОГИЯ  
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

**Материалы XXIII Международной научной конференции  
(Школы) по морской геологии**

**Москва, 18–22 ноября 2019 г.**

**Том III**

**GEOLOGY  
OF SEAS AND OCEANS**

**Proceedings of XXIII International Conference on Marine  
Geology**

**Moscow, November 18–22, 2019**

**Volume III**

**Москва / Moscow  
ИО РАН / IO RAS  
2019**

**ББК 26.221**

**Г35**

**УДК 551.35**

**DOI:10.29006/978-5-9901449-7-2.ICMG-2019-3**

**Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М.: ИО РАН, 2019. – 306 с. DOI:10.29006/978-5-9901449-7-2.ICMG-2019-3.**

В настоящем издании представлены доклады морских геологов, геофизиков, геохимиков и других специалистов на XXII Международной научной конференции (Школе) по морской геологии, опубликованные в пяти томах.

В томе III рассмотрены проблемы изучения рассеянного осадочного вещества геосфер, а также исследований по проблемам «Система Белого моря» и «Система Каспийского и Аральского морей».

Ответственный редактор

Академик А.П. Лисицын

Редакторы к.г.-м.н. Н.В. Политова, к.г.-м.н. В.П. Шевченко

**Geology of seas and oceans: Proceedings of XXII International Conference on Marine Geology. Vol. III. – Moscow: IO RAS, 2019. –306 pp. doi:10.29006/978-5-9901449-7-2.ICMG-2019-3.**

The reports of marine geologists, geophysicists, geochemists and other specialists of marine science at XXII International Conference on Marine Geology in Moscow are published in five volumes.

Volume III includes reports devoted to the problems of investigations of dispersed sedimentary matter in geospheres, and the investigations on problems “White Sea system” and “Caspian and Aral seas system”.

Chief Editor

Academician A.P. Lisitzin

Editors Dr. N.V. Politova, Dr. V.P. Shevchenko

**ISBN 978-5-9901449-7-2**

**ББК 26.221**

**© ИО РАН 2019**