

**Краснова Е.Д.**

(Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: e\_d\_krasnova@mail.ru)

**Беломорские отделяющиеся от моря водоемы: к вопросу о природе меромиксии**

**Krasnova E.D.**

(Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow)

**White Sea isolation basins: on the meromixis genesis**

Ключевые слова: реликтовые водоемы, стратификация, аноксия, ковшовые губы, температура, соленость, подземные воды

За десять лет наблюдений за беломорскими прибрежными стратифицированными водоемами накопились факты, которые указывают на возможное подземное поступление соленых сульфидных вод в придонный слой воды. Решение вопроса о происхождении нижней водной массы важно для построения модели их экосистемы.

В результате подъема берега на беломорском побережье образовалось множество водоемов, в разной степени отделенных от Белого моря. Они характеризуются устойчивой вертикальной стратификацией, вплоть до меромиксии [1]. Слоистая структура вод возникает из-за перекрытия остаточной морской воды слоем с меньшей соленостью, разбавленным пресным стоком с водосбора водой, или даже совсем пресным. По принятой классификации меромиктических водоемов такой механизм возникновения плотностной стратификации относится к эктогенному типу Ib, характерному для прибрежных морских меромиктических водоемов [2]. Дальнейшая эволюция водоема состоит в микробной переработке реликтовой морской воды микроорганизмами, в том числе – бактериями сульфатредукторами, которые восстанавливают сульфат морской воды до сульфида. В таком случае сероводород придонной анаэробной зоне имеет бактериальное происхождение, изменения в составе анионов также связаны с деятельностью бактерий-сульфатредукторов, которые расходуют сульфат, а беломорские водоемы могут служить простой моделью для изучения геохимических циклов. Однако за десять лет наблюдений за беломорскими прибрежными стратифицированными водоемами накопилось несколько фактов, которые указывают на возможное подземное поступление соленых сульфидных вод в придонный слой.

Поводом для сомнений стало внезапное появление в августе 2020 г. аноксийной зоны в губе Лобаниха (66°33'19" N; 33°14'17" E) на острове Великом, принадлежащем Кандалакшскому государственному заповеднику [3]. Это ковшовая губа с максимальной глубиной 13.5 м, соединяющаяся с морем узким мелководным проливом глубиной около 2 м во время отлива. Летом 2020 г. мы ежемесячно проводили в этой губе

наблюдения за гидрологическими характеристиками и планктоном, и в августе в нижней части водоема неожиданно появился сероводород, распространившийся до глубины 8 м. Наибольшая концентрация  $H_2S$  возле дна была 0.61 мг/л. Был замечен замор бентоса. Губа расположена в заповеднике, где нет источников загрязнения, нет жилья и хозяйственной деятельности. По предшествовавшим наблюдениям в водоеме не было цветения фитопланктона, а, соответственно, не было и существенного поступления органических веществ, которые могли послужить причиной вспышки бактериальной сульфатредукции. Не было цветения и на морской акватории, с которой сообщается губа. В сентябре граница аноксийной зоны опустилась до 12 м, но концентрация сероводорода увеличилась до 4.1 мг/л. К октябрю водоем очистился благодаря вертикальной циркуляции. В 2021 г. мы продолжили наблюдения, сероводород не появился. Происхождение сероводорода в губе Лобаниха представляется загадочным, и, нельзя исключать его подземную природу.

В нескольких километрах от Лобанихи на южном берегу полуострова Киндо есть другой необычный ковшовый водоем – бухта Биофильтров ( $66^{\circ}32'20''$  N,  $33^{\circ}10'10''$  E), которая вообще не отделена от моря [4]. Она представляет собой желоб глубиной 14–16 м (в зависимости от фазы прилива), окруженный более мелким широким плато 4–5 м глубиной. Несмотря на свободный водообмен с морем, в бухте Биофильтров ниже 8–9.5 м существует постоянная аноксийная зона с концентрацией сероводорода более 25 мг/л. Сероводородная водная масса не исчезает при зимнем охлаждении воды в море. В зимнее время температура придонного слоя остается положительной ( $+1.6^{\circ}C$ ). Постоянная положительная температура вынуждает отказаться также от бытующих представлений о причине повышенной солености в желобе бухты Биофильтров. Мы прежде считали, что это результат ледового высаливания и выпадения рассола при замерзании морской воды. Этот механизм, безусловно, существует [5, 6], но рассол, который опускается вниз переохлажден, и неминуемо остужал бы придонную водную массу, чего не происходит.

Еще один объект, который заставил задуматься над происхождением растворенных солей и сероводорода, стала губы Канда ( $67^{\circ}05'50''$  N,  $32^{\circ}10'34''$  E). Вершина этой губы искусственно отделена от моря дамбами железной дороги и автостреды, из-за чего полностью опреснилась. Но в одном из донных понижений в кутовой части этой губы под пресноводной толщей глубже 8–10 м обнаружена линза соленой сероводородной воды, которую принято считать сохранившейся со времени строительства первой дамбы в 1916 г. [7, 8]. Анионный состав ее отличается от морского меньшей концентрацией сульфатов и повышенной щелочностью, что может быть результатом деятельности сульфатредукторов, которые восстанавливают сульфат до сульфида [9]. Настораживает значительная концентрация фтора, нехарактерная для морской воды (Н.А. Демиденко, личное сообщение). Это

заставляет задуматься над возможным подземным источником вод.

В то же время, на Кандалакшском берегу Белого моря в районе п. Умба и Порьей губы, многие ковшовые губы, отделенные от Белого моря в значительно большей степени, лишены анаэробной зоны [10]. В их числе – губа Малая Пирья (66°41'25" N, 34°20'13" E), на берегу которой расположен пос. Умба. Она отделена от моря дамбой с небольшим свободным участком под мостом, через который происходит водообмен. В кутовой части губы есть два углубления 9 и 11 м, глубина пролета под мостом – 1 м. Бытовые стоки из поселка вызывают эвтрофирование, которое приводит к массовому развитию фитопланктона и прибрежных матов из нитчатых водорослей. Несмотря на эвтрофирование, в донных углублениях сероводород не обнаружен. Нет аноксийной зоны и в губе Педуниха (66°44'50" N, 33°32'48" E), отделенной от моря узким мелким протоком. А также в лагуне за Тихими островами в западной части Порьей губы (66°45'12" N, 33°36'11" E).

Если задуматься о возможности поступления в прибрежные водоемы подземных соленых вод, нужно также вспомнить о сообщении А.Н. Пантюлина о загадочном соленом «фонтане», обнаруженном им в оз. Кисло-Сладком (66°32'54" N, 33°08'05" E) в 1.5 км от Беломорской биостанции МГУ в начале февраля 2011 г. В ледовом покрове озера образовалась промоина, которой не было в предыдущие дни; поток воды под напором снизу сформировал купол. Вода в водяном куполе была соленой. Однако, это не могло быть следствием напора из моря, поскольку уровень озера (в том числе зимой) находится выше уровня среднего прилива, и, кроме того, в море в это время был отлив.

И еще одно ошеломляющее наблюдение. В марте 2021 г. нам удалось добраться до озера Еловое (66°28'55" N, 33°16'49" E), за которым мы наблюдаем уже 10 лет, но ни разу не попадали туда зимой. Это меромиктическое озеро с пресным миксолимнионом глубиной 1 м, соленой водой внизу с максимальной соленостью возле дна 22‰. Аэробная зона начинается с глубины 3 м. Температура воды возле дна (5.5 м) летом в любой месяц на протяжении 10 лет была примерно одинаковой – около +9°C, в марте оказалась +9.8°C. Постоянство придонной температуры – одно из ключевых свойств меромиктических водоемов. Однако представляется сомнительным, чтобы летний прогрев сохранялся до конца зимы, и ошеломляет настолько высокая температура.

В других прибрежных меромиктических озерах беломорского побережья температура придонного слоя воды тоже положительная. В озере Трехцветном (66°35'33" N, 32°58'43" E) глубиной 7.5 м в течение всего года температура +6°C, в озере Большие Хрусломены на острове Оленьем в заливе Ковда (66°43'01" N, 32°51'34" E) – около +8°C. В желобе бухты Биофильтров, где наблюдается устойчивая круглогодичная стратификация, температура придонной воды +1.6°C. Почему температура в них разная и

чем она определяется? Нет ли подтока подземных вод со свойственной им стабильной температурой?

Таким образом, за годы наблюдений за прибрежными стратифицированными водоемами на побережье Белого моря, мы накопили некоторое количество фактов, которые заставляют задуматься над происхождением нижней водной массы. Не исключено, что вышеперечисленные сюжеты не связаны между собой и имеют разную природу. Тем не менее, необходимо удостовериться, нет ли, например, притока соленых сероводородных вод из трещин подстилающих пород или иных их источников.

Решение вопроса о происхождении нижней водной массы важно также для оценки вклада живых организмов в формирование вертикальной структуры беломорских прибрежных меромиктических водоемов и для построения модели их экосистемы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-05-00377а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснова Е.Д. Экология меромиктических озер России. 1. Прибрежные морские водоемы // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 3. С. 322–333.
2. Walker K.F., Likens G.E. Meromixis and resognized typology of the lake circulation patterns // Verh. Internat. Verein. Limnol. 1975. V. 19. P. 442–458.
3. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Пацаева С.В., Кокрятская Н.М., Жадан А.Э., Цетлин А.Б. Внезапный замор бентоса из-за появления сульфидной зоны в губе Лобаниха в августе 2020 г. (Белое море, Кандалакшский залив) // География: развитие науки и образования. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения, С-Пб, РГПУ им. А.И. Герцена, 21–23 апреля 2021 г. Т. 1. С. 313–317.
4. Краснова Е.Д., Воронов Д.А. Подводное меромиктическое озеро в бухте Биофильтров (Белое море, Кандалакшский залив, окрестности Беломорской биостанции МГУ) // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. М.: ИО РАН, 2019. С. 165–169.
5. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Воронова А.Д. Влияние образования льда на формирование вертикальной стратификации в соленых лагунах, отделяющихся от Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. С. 168–170.
6. Voronova A., Krasnova E., Voronov D. A simple method to demonstrate that ice formation creates stratification in salt meromictic lakes // EARSeL eProceedings. 2015. V. 14. № S1. P. 23–27.
7. Саввичев А.С., Демиденко Н.А., Краснова Е.Д., Калмацкая О.В., Харчева А.Н., Иванов М.В. Микробные процессы в губе Канда –

меромиктического водоеме, искусственно отделенном от Белого моря // Докл. РАН. 2017. Т. 474. № 5. С. 637–641.

8. Демиденко Н.А., Саввичев А.С. Гидрологический режим меромиктических водоемов губы Канда, отделенных от Белого моря дамбой // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 22-25 апреля 2020 года. Т. 1. С-Пб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. С. 285–290.

9. Савенко А.В., Демиденко Н.А., Саввичев А.С., Покровский О.С. Распределение главных ионов и растворенных микроэлементов в меромиктических водоемах Кандалакшского залива Белого моря // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2015. С. 271–275.

10. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Кожин М.Н. В поисках реликтовой лагуны, изученной 85 лет назад: исследование ковшовых губ Восточная Порья, Педуниха и Малая Пирия на Кандалакшском берегу Белого моря // Труды VIII Международной научно-практической конференции Морские исследования и образование (MARESEDU-2019). Т. II. Тверь: ООО ПолиПРЕСС, 2020. С. 310–313.

Over ten years of observations of the White Sea coastal stratified water bodies, facts have accumulated that indicate the possible underground influx of saline sulfide waters into the bottom layer. Solving the question of the origin of the lower water mass is important for building a model of their ecosystem.



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

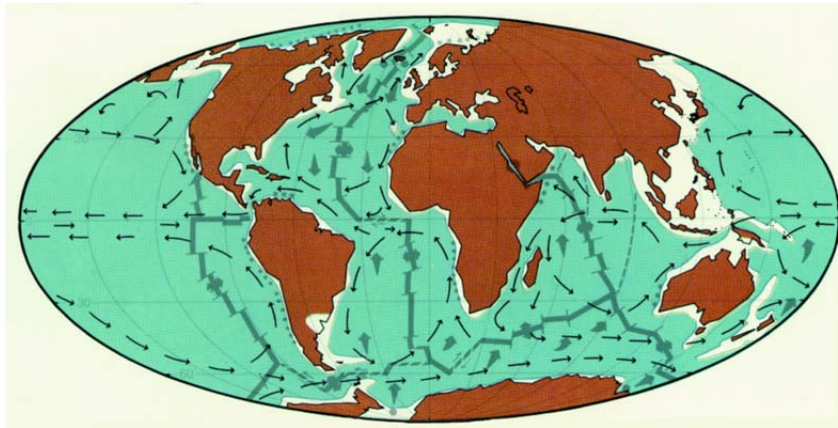
Материалы  
XXIV  
Международной  
научной  
конференции  
(Школы)  
по морской  
геологии

Москва

2021

# ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Том II



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

**ГЕОЛОГИЯ  
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

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

**Москва, 15–19 ноября 2021 г.**

**Том II**

**GEOLOGY  
OF SEAS AND OCEANS**

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

**Moscow, November 15–19, 2021**

**Volume II**

Москва / Moscow  
ИО РАН / IO RAS  
2021

**ББК 26.221**  
**Г35**  
**УДК 551.35**

**Геология морей и океанов: Материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. – М.: ИО РАН, 2021. – 295 с.**

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

В томе II рассмотрены проблемы изучения микро- и наночастиц, а также потоков вещества и энергии (атмо-, крио-, гидро-, лито- и седиментосферы), а также исследований по проблеме «Система Белого моря».

**ISBN 978-5-6045110-5-3**

**DOI: 10.29006/978-5-6045110-5-3**

Доклады опубликованы в авторской редакции.  
Ответственный редактор к.г.-м.н. Н.В. Политова  
Рецензенты

академик Л.И. Лобковский, к.г.-м.н. В.П. Шевченко,  
д.г.-м.н. И.А. Немировская, к.г.-м.н. М.Д. Кравчишина

**Geology of seas and oceans: Proceedings of XXIV International Conference on Marine Geology. Vol. II. – Moscow: IO RAS, 2021. – 295 pp.**

The reports of marine geologists, geophysics, geochemists and other specialists of marine science at XXIV International Conference on Marine Geology in Moscow are published in four volumes.

Volume II includes reports devoted to the problems of investigations of micro- and nanoparticles, and mass and energy fluxes (atmo-, cryo-, hydro-, litho- and sedimentospheres), and the investigations on problem “White Sea system”.

**ISBN 978-5-6045110-5-3**  
**ББК 26.221**

**© ИО РАН 2021**