



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



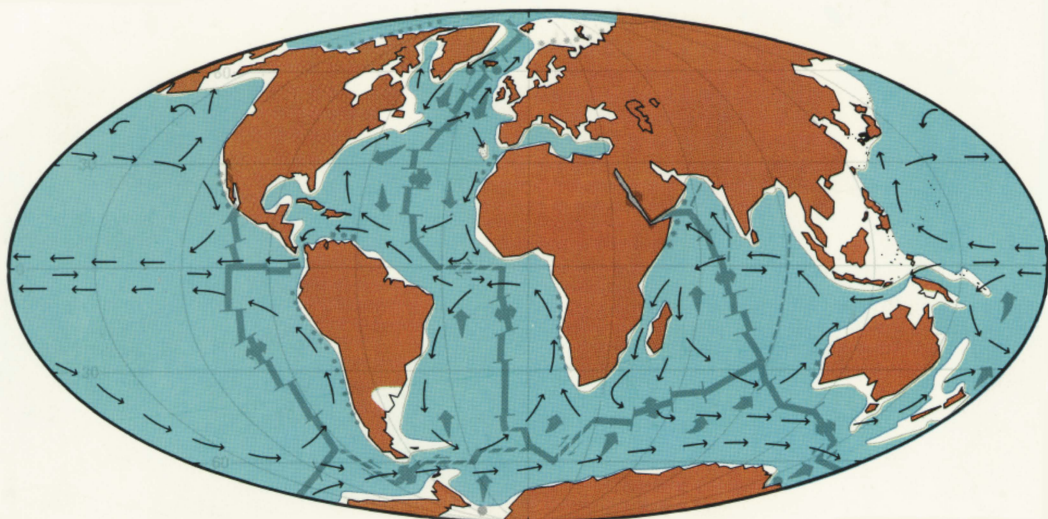
Материалы  
XXII  
Международной  
научной  
конференции  
(Школы)  
по морской  
геологии

Москва

2017

# ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Том III



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

**ГЕОЛОГИЯ  
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

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

**Москва, 20–24 ноября 2017 г.**

**Том III**

**GEOLOGY  
OF SEAS AND OCEANS**

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

**Moscow, November 20–24, 2017**

**Volume III**

Москва / Moscow  
ИО РАН / IO RAS  
2017

ББК 26.221  
Г35  
УДК 551.35

**Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М.: ИО РАН, 2017. – 352 с.**

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».

**Материалы опубликованы при поддержке издательства ГЕОС.**

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, 2017. – 352 pp.**

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 978-5-89118-758-0  
ББК 26.221

© ИО РАН 2017

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

(<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: [e\\_d\\_krasnova@mail.ru](mailto:e_d_krasnova@mail.ru); <sup>2</sup>Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН (ИППИ РАН), <sup>3</sup>Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)

**Вертикальная гидрологическая структура и биологическая зональность в водоемах, отделяющихся от Белого моря**

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

(<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow; <sup>2</sup>Institute for Information Transmission Problems RAS (Kharkevich Institute), <sup>3</sup>A.N. Belozersky Institute Of Physico-Chemical Biology of Moscow State University, Moscow)

**Vertical hydrological structure and functional biological zones in the water bodies separated from the White Sea**

Ключевые слова: стратификация, отделяющиеся водоемы, меромиксия, хемоклин, микроорганизмы

На основании данных о вертикальном распределении температуры, солёности, растворенного кислорода, рН, Eh, освещенности, сероводорода, некоторых биогенных элементов и планктона в шести водоемах на разных стадиях изоляции от Белого моря составлена обобщенная схема вертикальной зональности в этом классе стратифицированных водоемов. Основные черты этой структуры: наличие трех основных слоев и двух переходных, из которых один имеет абиотическую природу (пикноклин), а другой – абиотическую (хемоклин). Обсуждается распределение биоты по этим слоям и их роль в экосистеме водоема.

В результате регрессии моря на побережье залива Белого моря образовалось множество полуизолированных водоёмов с устойчивой вертикальной стратификацией, обусловленной одновременным существованием придонной солёной водной массы морского происхождения и опресненного верхнего слоя. В настоящий момент на побережье Кандалакшского залива мы нашли и исследовали 12 таких водоемов (таблица).

Многолетние круглогодичные наблюдения за шестью водоемами показали, что плотностная стратификация очень устойчива и сохраняется в течение длительного времени. Сезонная циркуляция воды не затрагивает водоем полностью, что позволяет отнести их к категории меромиктических водоемов. По классификации Хатчинсона [1] они относятся к экзогенным меромиктическим водоемам. Сопоставление вертикальных профилей температуры, солёности, содержания растворенного кислорода, рН, Eh и освещенности, а также вертикального распределения массовых форм фитопланктона и инфузорий позволило составить обобщенную схему вертикальной зональности типового водоема, отделяющегося от Белого моря.

Она включает пять слоев. 1. Поверхностный слой толщиной от 1 м до 1.5 м – зона ветрового перемешивания, в которой в безледный период происходит смешение пресной воды, поступающей с водосборного бассейна и с осадками, а также образовавшейся в результате таяния льда, с нижележащей соленой водой. В некоторых водоемах этот слой совершенно пресный. В тех водоемах, которые еще находятся под влиянием приливов и отливов, именно этот слой сообщается с морем и в этом случае соленость поверхностного слоя воды в полуизолированном водоеме такая же, как в море. 2. Пикноклин – переходная зона между опресненным поверхностным слоем и соленым, расположенным ниже. Особенностью прибрежных стратифицированных водоемов можно считать малую толщину и очень резкий плотностной градиент в пикноклине. 3. Соленый аэробный слой. В отличие от пресных меромиктических водоемов, где пикноклин одновременно служит и границей раздела между аэробной и анаэробной зонами [2], в прибрежных меромиктических водоемах морского происхождения редокс-клин находится значительно ниже пикноклина, и между ними располагается соленая аэробная зона. В ней нередко наблюдается локальная температурная инверсия: соленый аэробный слой теплее по сравнению с верхним опресненным и нижним анаэробным слоями. Соленый аэробный слой может быть на 5° теплее, чем поверхностный, и в некоторых случаях прогревается до 26°C. Причиной повышенной температуры служат солнечный прогрев и накопление тепла в отсутствие конвекции, когда теплообмен с вышележащей зоной и атмосферой ограничен крайне медленной тепловой диффузией. Аналогичным образом происходит накопление растворенного кислорода, который образуется в результате фотосинтеза фитопланктона, вплоть до 200% и даже 300% насыщения. Выработанный фитопланктоном кислород распространяется в соседние слои преимущественно путем молекулярной диффузии, также очень медленной. В биологическом плане, соленый аэробный слой характеризуется более высокой численностью фитопланктона и зоопланктона по сравнению с поверхностным слоем и пикноклином, причем планктонные организмы концентрируются в нижней части, вблизи с хемоклином. 4. Хемоклин, или редокс-зона – переходная зона между аэробной и анаэробной зонами. В изучаемых озерах он характеризуется очень резкими физико-химическими градиентами: слой насыщенный кислородом и слой с высоким содержанием сероводорода могут находиться друг от друга всего в 10–20 см, а разность потенциалов между ними может достигать 0.5 вольт. Хемоклин обычно окрашен за счет массового развития фототрофных организмов. По составу микроорганизмов хемоклин делится на еще более узкие прослойки. В верхней части хемоклина, над нулем Eh располагается прослойка миксотрофных микроорганизмов, например криптофитовых жгутиконосцев *Rhodomonas* (оз. Кисло-Сладкое, Вонючее, Большие Хрусломены, лагуна на Зеленом

мысе) или *Cryptomonas* (оз. Нижнее Ершовское), зеленых жгутиконосцев *Euglena*, а также инфузорий с фотосинтезирующими эндосимбионтами. Сразу под слоем с миксотрофами, под нулем Eh находится прослойка с аноксигенными фототрофами. В изучаемых водоемах массового развития достигают зеленые серные бактерии: коричневоокрашенные (оз. Еловое) или зеленоокрашенные (оз. Трехцветное, и Вонючее), либо смешанная культура (лагуна на Зеленом мысе) [4]. Плотность клеток в прослойках с миксотрофами и аноксигенными фототрофами обычно так велика, что они полностью поглощают дошедший до них солнечный свет, в результате чего нижележащая зона оказывается афотической и холодной. 5. Солёный анаэробный слой с высоким содержанием сероводорода, пониженной температурой и темновыми условиями.

В отличие от многих меромиктических водоемов, расположенных в других географических зонах, где сероводород может иметь как биотическое происхождение (за счет деятельности бактерий-сульфатредукторов), так и абиотическое (из подземных флюидов и от вулканической деятельности), в беломорских прибрежных стратифицированных водоемах источник сероводорода только один - бактериальный. Наиболее интенсивная сульфатредукция происходит в донном осадке [5], откуда сероводород диффундирует в воду. В толще водоема, где солнечный свет достигает сероводородной зоны при условии отсутствия конвекции возникают благоприятные условия для развития высокоплотного сообщества аноксигенных фототрофных бактерий, которые препятствуют распространению сероводорода вверх и тем самым защищают вышележащую аэробную экосистему от этого ядовитого агента, задерживают солнечные лучи и препятствуют прогреву нижней водной массы, чем способствуют усилению стратификации, а также создают деление водоема на фотическую и афотическую зоны. Близкое соседство миксотрофных организмов и фототрофных бактерий тоже представляется неслучайным. Миксотрофы способны переключаться с фотосинтеза на животный тип питания. Известно, что среди криптофитовых водорослей некоторые способны поглощать органические частицы бактериального размера и самих бактерий. Относительно того вида *Rhodomonas*, который обитает в беломорских стратифицированных водоемах, это пока не доказано и должно быть решено в ходе дальнейших исследований. В любом случае, и криптофитовые, и эвгленовые миксотрофные микроорганизмы получают органические вещества в растворенном виде или в виде оформленных частиц из прослойки зеленых серных бактерий [6], используют их для наращивания своей биомассы, и это позволяет им достигать высоких значений численности и биомассы вплоть до гипертравения [7]. Криптофитовые и эвгленовые, в свою очередь, представляют собой хороший корм для зоопланктона. Об этом мы можем судить по наличию внутри клеток инфузорий красных или зеленых

включений с характерной флуоресценцией, и по аналогичным сгусткам в пищеварительной системе ракообразных и коловраток.

Таблица 1. Характеристика 12 водоемов, естественным образом изолированных от Белого моря.

Название водоема	Координаты	Площадь, тыс. га	Мак глубина, м	Соленость, ‰		Положение на глубине в разные годы, м		Мак конц. H <sub>2</sub> S, мг/л
				Поверхность	Дно	Пикноклин	Хемоклин	
Оз. Большие Хрусломены	N66°42'57", E32°51'33"	300	24	4-7	23-24	2.0-3.0	3.2-4.4	860
Оз. Трёхцветное	N66°35'31", E32°58'40"	30	7.5	0-5	21-22	1.0-2.5	1.2-2.5	673*
Оз. Еловое	N66°58'53", E33°16'48"	30	5.5	0-0.2	24-25	1.0-1.5	2.5-3.5	1075
Оз. Вонючее в Чупинской губе	N66°17'23", E33°20'09"	70	2.5	5.0	14-16	1.3-1.5	2-2.2	ND*
Оз. Нижнее Ершовское	N66°32'16", E33°03'30"	80	2.8	0-1.1	0-12	1-2.8	1.5-2.8	131
Оз. Мероламбина	N66°10'00", E 34°11'11"	60	8	10	18	1.0	ND	ND
Оз. Кисло-Сладкое	N66°32'54", E33°08'05"	16	5	9-26	22-28	1.0	2.5-4.0	34
Лагуна №1 на о. Телячьем	N67°06'56", E 32°18'50"	8	3.0	12	18	1.5-2.5	-	ND
Лагуна №2 на о. Телячьем	N67°06'53", E 32° 19' 15"	15	3.4	12-15	15-18	1.5-2.5	-	ND
Лагуна на Зеленом мысе	N66°31'49", E 33°05'42"	13	6.5	20-26	28-29	1.5-2.5	3.5-5.5	102
Оз. Вонючее на о. Тонисоар	N69°09'38", E 34°13'34"	10	10	21-22	27-29	1.5-2.0	9	ND
Губа Глубокая (возле о. Соностров)	N66°10'02", E 34°09'12"	5	8	24	26	5.5	ND	ND

\* По: [3]. \*\* ND – нет данных.

Таким образом, первичная продукция аноксигенного фотосинтеза включается в трофическую сеть аэробного сообщества и играет в нем очень важную роль. Это обстоятельство коренным образом отличает экосистему водоема, отделяющегося от моря, от морских и озерных экосистем, основанных на первичной продукции оксигенного фотосинтеза.

В беломорских отделяющихся водоемах можно выделить 4

геохимических барьера, из которых три определяются абиотическими факторами (поверхность воды, пикноклин и дно), а четвертый – хемоклин – имеет биологическое происхождение, так как сформирован за счет деятельности микроорганизмов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 16-05-00548-а и 16-05-00502-а).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hutchinson G.E. A contribution to the limnology of arid regions // Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences. 1937. V. 33. P. 47–132.
2. Gulati R.D., Zadereev E.S., Degermendzhi A.G. Ecology of meromictic lakes. Switzerland Springer, 2017. 405 p.
3. Losyuk G., Kokryatskaya N., Krasnova E. Formation of hydrogen sulfide in isolated basins at the Karelian of the White Sea coast // EARSel eProceedings. 2015. V. 14. P. 49–54.
4. Kharcheva A.V., Krasnova E.D., Gorlenko V.M. et al. 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 – The International Society for Optical Engineering, 9917:99170Q–1–99170Q–16, 2016.
5. Savvichev A.S., Lunina O.N., Rusanov I.I. et al. Microbiological and isotopic geochemical investigation of lake Kislo-Sladkoe, a meromictic water body at the Kandalaksha bay shore (White Sea) // Microbiology. 2014. V. 83. № 1–2. P. 56–66.
6. Barkhatov Y.V., Khromechek E.B., Tolomeev A.P. et al. Vertical distribution and trophic role of cryptophyta flagellates of meromictic lakes Shira and Shunet (Khakassia, Russia) // 3-th International Conference on Salt Lakes research (UICSR 2017): Book of abstracts (Ulan-Ude, Russia, August 21–25, 2017). Ulan-Ude: Buryat State University Publishing Department, 2017. P. 109.
7. Калмацкая О.А., Лаптинский К.А., Медвецкая И.Ю., Краснова Е.Д. Первая оценка биомассы водорослей в красном слое реликтового Кисло-сладкого озера (Белое море, ББС МГУ) // Материалы III Международной молодежной научно-практической конференции "Морские исследования и образование" (Москва, 22–24 октября 2014 г.). Москва, 2014. С. 173–177.

Based on the data on the vertical distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, pH, Eh, illuminance, hydrogen sulfide and plankton in 12 salt lakes at the different stages of separation from the White Sea, a generalized scheme of vertical zoning was compiled. The main features of this structure are three main layers and two transition layers, one of which is of abiotic origin (pycnocline), and the other of biotic nature (chemocline). The distribution of biota over these layers and the role of different biotic layers in the ecosystem of the reservoir are discussed.