

УДК 550.47

DOI: 10.18384/2310-7189-2017-4-123-134

ПРОЦЕСС СУЛЬФАТРЕДУКЦИИ В ПРЕСНОВОДНЫХ ОЗЕРАХ (БЕЛОЕ, НИЖНЕЕ, СВЯТОЕ) КОНОШСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ*

Титова К.В., Кокрятская Н.М., Жибарева Т.А.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики

им. академика Н.П. Лаверова РАН

163000, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д.23, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены особенности протекания процесса сульфатредукции в трех пресноводных озерах с разной степенью антропогенного воздействия и типом подземных вод. Представлены количественные показатели данного процесса. Проведено сравнение полученных результатов и выделены особенности процесса в каждом из водоемов. Показано, что интенсивное протекание сульфатредукции в воде в летний период зафиксировано для наиболее антропогенно нагруженного озера. Для водоема с поступлением сульфатного типа подземных вод процесс протекает с наибольшим накоплением соединений восстановленной серы как в воде, так и в донных отложениях.

Ключевые слова: Архангельская область, Коношский район, малые водоемы, донные отложения, органическое вещество, соединения серы, восстановление сульфатов

PROCESS OF SULFAT REDUCTION IN FRESHWATER LAKES (BELOE, NIZHNEE, SVYATOE) OF KONOSH DISTRICT OF ARKHANGELSK REGION

K. Titova, N. Kokryatskaya, T. Zhibareva

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences

nab. Severnoi Dviny 23, 163000 Arkhangelsk, Russian Federation

Abstract. We consider the peculiarities of the process of sulfate reduction in three freshwater lakes with different anthropogenic impacts and groundwater types. Quantitative indicators of this process are presented. The results obtained are compared and the features of sulfate reduction in each of the reservoirs are highlighted. It is shown that the intensive sulfate reduction in water in summer is recorded for the most anthropogenically loaded lake. For a reservoir with the receipt of a sulfate type of groundwater, the process proceeds with the greatest accumulation of reduced sulfur compounds both in water and in bottom sediments.

Key words: Arkhangelsk region, Konosh district, small ponds, bottom sediments, organic matter, sulfur compounds, sulfate reduction.

© Титова К.В., Кокрятская Н.М., Жибарева Т.А., 2017.

* Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ мол_а №16-35-00025.

В условиях возрастающей антропогенной нагрузки, приводящей в ряде случаев к эвтрофированию, в водоемах высокая биологическая продуктивность может являться причиной попадания на дно значительной массы органического вещества. Это в свою очередь вызывает повышенную продуктивность бентосного сообщества и интенсивные микробиологические процессы на поверхности дна и в толще отложений, в результате чего могут возникать анаэробные зоны, в которых деструкция органических веществ (ОВ) осуществляется в основном в результате деятельности гетеротрофных анаэробных микроорганизмов [4]. Сульфатредуцирующие бактерии (СРБ), активизирующие свою деятельность в условиях стагнации, распространены в донных осадках (ДО) пресноводных озер. Данная специализированная группа бактерий использует кислород сульфатов для анаэробного окисления ряда органических веществ. Основными лимитирующими факторами развития СРБ в пресных водоемах являются: наличие сульфатов, низкомолекулярных органических веществ и биогенов, а также восстановленные условия среды и нейтральные значения рН [3]. Подходящими объектами исследования, отвечающими подобным условиям, могут быть малые озера, которые в основном остаются мало изученными.

Целью работы являлось изучение особенностей протекания процесса сульфатредукции в водоемах с разной степенью антропогенного воздействия на примере оз. Белое, Нижнее и Святое (Коношский район Архангельской области).

Коношский район расположен в юго-западной части Архангельской об-

ласти, входит в подзону средней тайги. Район характеризуется избыточным увлажнением. Казанский ярус Пермской системы на данной территории представлен карбонатными породами, в частности известняками. Преобладающими типами рельефа являются плоская и волнистая моренная и озерно-ледниковая равнины; местами – ледниковый и холмисто-грядовый моренный рельеф [1]. Территория района из-за особенностей рельефа является водоразделом трех больших рек – Северной Двины, Онеги и Кубены. Водораздел между водосборами Онеги и Северной Двины (бассейн Белого моря) проходит по восточному берегу оз. Нижнее (пгт Коноша). Подземные воды на данной территории в основном представлены водами гидрокарбонатного типа кальциевой группы [9]. Таковыми были воды, взятые из колонок в пгт Коноша и пос. Климовская (расположенного в 60 км от Коноши), которые проанализированы авторами работы. Однако на основании архивных данных в глубоких скважинах в нескольких километрах от пос. Климовская было отмечено увеличение количеств сульфатов до 1000 мг/л. Водовмещающие породы были представлены гипсами, доломитами, ангидритами.

На основе имеющейся информации нами были определены в качестве объектов исследования: оз. Нижнее и Святое – водоемы с различной степенью антропогенной нагрузки с подземными водами гидрокарбонатными кальциевой группы (рис. 1, табл. 1). На берегу оз. Нижнее расположен пгт Коноша. На восточном берегу водоема проживает треть населения поселка (около 3–4 тыс. чел.), и в этом жилом

районе нет централизованных канализационных и ливневых систем. На водосборе водоема осуществляется сельскохозяйственная деятельность: использование азотных и фосфорных удобрений на полях и огородах. Озеро очень интенсивно используется местным населением для полоскания белья и стирки ковров с применением синтетических моющих средств.

По берегам озера Святое располагаются существующие или в настоящее время заброшенные поселения Климовская, Поздеевская, Мокеевская и др. До недавних пор на берегу оз. Святое функционировал маслозавод, стоки которого без очистки поступали

в водоем. Для этой части озера отмечено влияние стоков действовавшего маслозавода и поселка Климовская – по периодической минимальной деградации ОВ при высокой продукции, заметному содержанию (до 7 КОЕ/мл) представителей бактерий группы кишечной палочки в период весеннего половодья. Результаты исследований представлены в работе для этого участка.

В качестве водоема с питанием сульфатными подземными водами было выбрано оз. Белое, в настоящее время не испытывающее прямого антропогенного воздействия. На его берегах нет поселений.

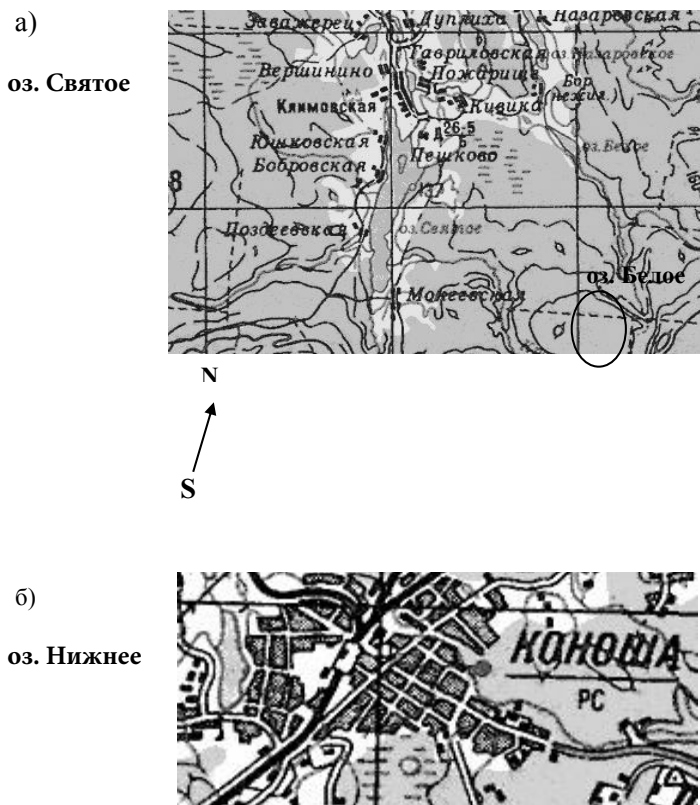


Рис. 1. Карта-схема объектов исследования а) оз. Белое и Святое; б) оз. Нижнее

Пробы воды отбирались в соответствии с [6] послойно на выбранных станциях озера с помощью горизонтального пластикового батометра в период зимней (март) и летней (июль) межени. Донные осадки были отобраны согласно требованиям [5]. Послойное разделение отобранных ударной трубкой осадков проводилось с дискретностью 5 см в оба сезона. Определение фосфатов и аммония, сероводорода и сульфидов осуществлялось стандартными фотометрическими методами [10; 11]. Определение сульфатов в воде проводилось хроматографически на жидкостном хроматографе

LC-20 Prominence с кондуктометрическим детектором [8]. Определение различных форм серы в донных отложениях проводили по методике, разработанной в лаборатории геохимии Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН [3]. Методика предусматривает определение сульфидной, элементной, пиритной и органической форм серы из одной навески донных осадков. Определение органического углерода в ДО проводили методом сухого сжигания с последующим газохроматографическим разделением газовой смеси на C,H,N-анализаторе фирмы «Hewlett-Packard».

Таблица 1

Некоторые характеристики исследуемых озер

Характеристики	Озера		
	Белое	Нижнее**	Святое
Высота зеркала озера над уровнем моря, м**	132	208	135
Длина, км	1,30	1,33	4,30
Наибольшая ширина, км	0,22	0,39	0,93
Средняя глубина, м	2,0	2,8	3,6
Наибольшая глубина, м	3,7	5,5	16,0
Площадь зеркала, км ²	0,165	0,396	2,11
Объем, км ³	0,000337	0,00112	0,00749
Глубина станции отбора проб, м**	2,7-3,0	5,0-5,5	4,0
Координаты станций отбора**	N 60°51.227' E 039°39.984'	N60°58.145' E040°13.205'	N 60°51.607' E 039°30.271'

** – получены в ходе экспедиционных работ авторами публикации

Рассмотрим более подробно параметры, которые влияют на протекание процесса сульфатредукции. Содержание растворенного органического углерода в воде данных водоемов составляло (мг/л): Нижнее (20,83±4,88) < Белое (22,16±4,96) < Святое (23,20±7,64). Значения величины рН для воды всех трех

изученных озер были близки к 7: Белое – (6,91±0,61); Святое – (6,98±0,41); Нижнее – (7,42±0,93). Более высокие значения этого показателя для оз. Нижнее вызваны цветением фитопланктона в эпилимнионе данного водоема в летний период. Значительные количества фосфатов в этом озере в 2,5–4 раза

превышают по средним результатам таковые для двух других изученных озер (табл. 2). Для антропогенно не нагруженных озер Кенозерского национального парка (КНП) (Архангельская область, зона средней тайги) среднее содержание фосфатов в воде составля-

ло 15–20 мкг/л [7]. По содержанию этого компонента исследуемые водоемы можно расположить в следующий ряд: Белое < Святое < Нижнее. По этому ряду хорошо прослеживается наличие антропогенного воздействия на водоемы.

Таблица 2

Химические показатели в воде и донных осадках изученных водоемов

Показатель	Озера		
	Белое	Нижнее	Святое
Вода			
Цветность, град	82	78	106
Кислород, мг/л	<u>3,11*</u> 0,00-9,21	<u>4,71</u> 0,00-15,7	<u>4,94</u> 0,06-14,1
Фосфаты, мкгP/л	<u>21,8</u> 2,66-94,0	<u>89,2</u> 1,48-696	<u>36,3</u> 2,98-167
Аммоний, мкгN/л	<u>42,4</u> 20-192	<u>149</u> 0,00-2063	<u>40,4</u> 6,83-241
Сульфаты, мг/л	<u>12,5</u> 1,95-30,3	<u>4,28</u> 0,93-12,7	<u>4,67</u> 1,53-10,2
Сульфиды, мкг/л	<u>84,01</u> 0,95-405	<u>27,35</u> 2,17-292	<u>8,03</u> 0,00-14,7
Донные отложения			
Сульфаты в жидкой фазе, мг/л	<u>5280</u> 2100-21270	<u>496</u> 3-2400	<u>1334</u> 325-3500
Общее содержание соединений восстановленной серы, % (а.с.в.)	<u>2,40</u> 0,04-11,7	<u>0,19</u> 0,04-1,12	<u>0,29</u> 0,04-3,18
Органический углерод, % (а.с.в.)	<u>12,2</u> 3,52-23,3	<u>15,2</u> 4,88-24,5	<u>10,2</u> 4,92-14,05
Лабильный органический углерод в поверхностном слое (март/июль), % (а.с.в.)	4,51/9,67	6,82/10,44	3,67/3,29

*В числителе – среднее значение; в знаменателе – минимальное – максимальное. а.с.в. – абсолютно сухое вещество.

Также максимальное содержание аммония в воде оз. Нижнее, превышающее 2 мг/л, может свидетельствовать о наличии эвтрофирования в нем. Среднее содержание сульфатов в воде оз. Нижнее сопоставимо с таковым для

оз. Святое, но примерно в 3 раза менее, чем для оз. Белое. Для сравнения – содержание сульфатов в воде озер на территории КНП составляло: Вильно – 1,26; Саргозеро – 1,48; Масельское мелководные станции – 1,15 мг/л. Для

изучаемых озер наибольшие значения этого показателя отмечены в поверхностном слое воды. Причем для оз. Нижнее максимальные количества зафиксированы на участке, который расположен наиболее близко к берегу, на котором находится жилой район пгт Коноша. Минимальные значения сульфатов характерны для анаэробных придонных слоев трех изучаемых водоемов, самое малое содержание обнаружено в гиполимнионе оз. Нижнее в летний период.

Для изученных нами озер наблюдается практически полное исчерпание кислорода в придонных слоях воды, где создаются анаэробные условия из-за затрат кислорода на деструкцию органического вещества. Развитие анаэробных условий в гиполимнионе в подледный период с практически полным исчерпанием кислорода отмечено для всех изученных нами озер. Отличительной особенностью оз. Нижнее является наличие постоянного исчерпания кислорода в слоях от 3,5 до 5,5 м по всей акватории водоема в летний период. Для оз. Святое и Белое этот факт отмечен периодически, и в основном, в придонном слое воды. Все вышеописанные факторы либо благоприятствуют, либо указывают на протекание сульфатредукции в водной толще изучаемых озер.

Среднее содержание сероводорода в воде изученных озер различно. Наименьшие значения отмечены для оз. Святое, для оз. Нижнее эта величина в 4 раза больше, для оз. Белое – в 10 раз. Сероводород в минимальных количествах (до 5–8 мкг/л) присутствует по всей водной толще, максимальные значения зафиксированы в гиполимнионе. При этом различаются они по

сезонам. Для оз. Святое и Белое максимумы отмечены в подледный период, а оз. Нижнее обладает особенностью – в нем сероводород обнаружен в больших количествах в летний период (около 300 мкг/л, что превышает ПДК_{рыбохоз.} = 5 мкг/л). Для оз. Белое, содержащего наибольшие количества сульфатов в воде, отмечены максимальные среди исследованных нами озер количества сероводорода, которые достигают значения 400 мкг/л. На фоне полного исчерпания кислорода и по всей толще воды это приводило периодически к замору рыбы.

По результатам определений интенсивности сульфатредукции (ISR) в летний период 2017 г. в водоемах в наддонной воде образуется мкг S/ дм³ сут: Святое – 6,75; Белое – 64,48; Нижнее – 77,52 (рис. 2).

Можно сделать вывод, что в поверхностных слоях донных отложений (особенно до 10 см) для эвтрофированного в результате антропогенной деятельности оз. Нижнее процесс сульфатредукции протекает очень интенсивно. По максимальным значениям ISR превышает таковые для оз. Белое почти в 27 раз, а для Святого – почти в 5 раз. Для этих водоемов процесс протекает с различной интенсивностью по слоям. При этом количество СРБ для оз. Нижнее в целом не превышает 10³ кл/см³, а для оз. Святое для горизонта 22 см достигает 10⁶ кл/см³, а интенсивность процесса минимальна. При этом общее содержание органического вещества в донных осадках (в расчете на органический углерод (C_{орг.}) достаточно велико (%): Святое (10,2±2,1) < Белое (12,2±4,9) < Нижнее (15,2±3,5). Но при этом доля лабильного органического углерода в поверхностном

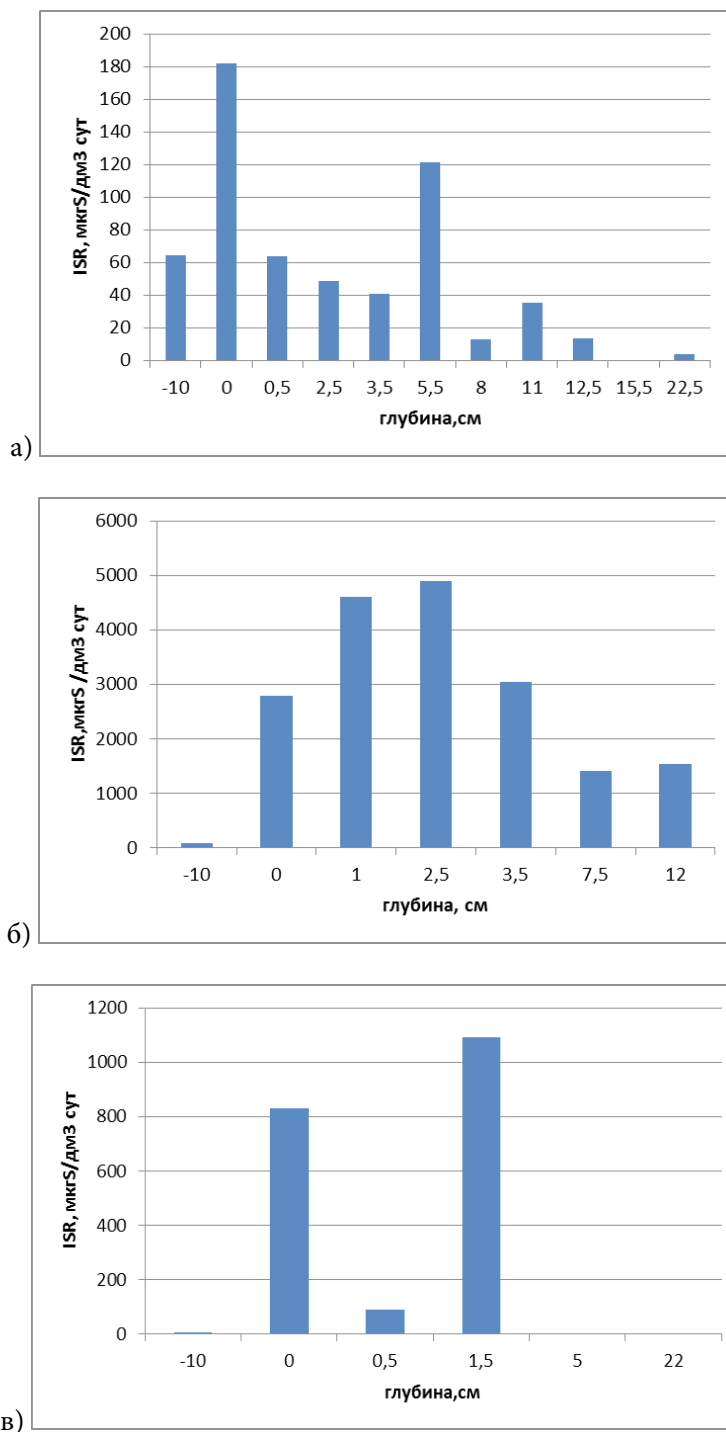


Рис. 2. Интенсивность сульфатредукции (ISR) в воде и донных отложениях озер:
а) Белое; б) Нижнее и в) Святые в июле 2017 г. (-10 см – наддонная вода; 0 см – наилок)

слое отложений отличается. Наибольшие количества этого показателя отмечены в летний период для оз. Белое и Нижнее, которые составляли 56 % от общего количества $C_{\text{орг}}$. Для оз. Святое лабильного ОВ было в 3 раза меньше в этот же период (42 % от $C_{\text{орг}}$). Зимний период характеризовался меньшими значениями лабильного вещества по сравнению с периодом открытой воды. Для оз. Святое эта величина приблизительно одинакова в оба сезона.

Сульфаты в жидкой фазе отложений всех изучаемых нами озер присутствовали в разных количествах (табл. 2). Только для осадков оз. Нижнее для горизонтов осадков ниже 25 см содержание сульфатов может лимитировать протекание сульфатредукции.

Содержание соединений восстановленной серы ($\Sigma\text{SH}_2\text{S}$), которые являются производными продуцируемого в ходе сульфатредукции сероводорода, составляло (%): Нижнее ($0,19 \pm 0,15$) < Святое ($0,29 \pm 0,50$) < Белое ($2,40 \pm 1,94$). Распределение форм восстановленной серы более подробно расписано в работах [12–15]. Упомянем, что преобладающей формой в донных отложениях оз. Нижнее ($n=43$) и Святое ($n=51$) является органическая – в среднем 73%. Отличительной особенностью отложений оз. Белое ($n=98$) является доминирование в составе соединений восстановленной серы пирита, вклад которого составлял в среднем 52%, достигая в отдельных случаях 90% от общего их содержания. Отметим, что такое распределение форм – подавляющее доминирование пиритной серы, характерно для морских осадков [3], водная толща над которыми содержит большие количества сульфатов, которыми обогащаются и иловые воды

отложений в результате диффузии. Динамика накопления $\Sigma\text{SH}_2\text{S}$ по сезонам для этого озера меняется по годам в зависимости от времени разгрузки подземных вод в водоем. Так, в марте, когда отмечено максимальное за все время наблюдений количество сульфатов в жидкой фазе, тогда же зафиксировано значительное накопление соединений восстановленной серы до 9–11%. Содержание соединений восстановленной серы для оз. Нижнее примерно одинаково для обоих климатических сезонов.

В заключение скажем, что, на основании проведенных исследований трех пресноводных озер с разной степенью антропогенного воздействия и типом подземных вод, получены следующие результаты.

По содержанию фосфатов в воде изученных озер отчетливо прослеживается степень антропогенного воздействия на водоем: Белое < Святое < Нижнее.

В воде оз. Белое и Святое в зимний период, а для оз. Нижнее – и в летний, создаются благоприятные условия среды, необходимые для жизнедеятельности СРБ (анаэробный гиполимнион, рН, наличие достаточного количества ОВ и сульфатов).

Антропогенное воздействие на оз. Нижнее приводит к его эвтрофированию, массовому развитию фитопланктона, развитию гипоксии в более широких слоях воды в период открытой воды и интенсивному протеканию сульфатредукции в воде. Процесс также очень активен в верхних слоях ДО. Но лимитирующим фактором протекания восстановления сульфатов для данного водоема выступают количества сульфатов, особенно значитель-

ное снижение их содержания в донных осадках глубже 20–25 см.

Вялость протекания этого процесса для менее антропогенно нагруженного оз. Святое связана с нехваткой доступных для СРБ низкомолекулярных органических соединений, которые не успевают образоваться в результате минерализации органического вещества в аэробной зоне водной толщи, а продуцирование этих соединений затруднено из-за цветности воды, приводящей к проникновению света на незначительную глубину. Поступление малого количества лабильного ОВ в донные отложения приводит к незначительному накоплению соединений восстановленной серы – производных бактериального сероводорода.

Для оз. Белое как примера водоема с поступлением сульфатного типа подземных вод сульфатредукция протекает с наибольшим накоплением соединений восстановленной серы как в воде, так и в донных отложениях (почти в 10 раз больше по сравнению с дру-

гими изученными нами водоемами). Малая интенсивность процесса в воде и ДО в летний период связана с наличием остаточных количеств кислорода, проникающих в ДО до глубины 20 см. В толще отложений соединений восстановленной серы накапливается в 4–5 раз больше, чем в поверхностных слоях.

Таким образом, в целом наибольшее накопление соединений восстановленной серы отмечено в водоеме с сульфатным типом подземных вод. За исключением интенсивного протекания сульфатредукции в воде в летний период для наиболее антропогенно нагруженного озера.

Авторы выражают благодарность: Ивахновой Р.Б. – за определение органического углерода в донных отложениях, Захаровой Е.Е. – за определение интенсивности сульфатредукции, Забелиной С.А. – за определение численности сульфатредуцирующих бактерий, Широковой Л.С. и Климову С.И. – за предоставленные гидрологические данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Архангельской области / Отв. ред. Н.А. Моргунова. М.: ГУГК, 1976. 72 с.
2. Волков И. И. Геохимия серы в осадках океана. М.: Наука, 1984. 272 с.
3. Волков И.И., Жабина Н.Н. Методы определения различных соединений серы в морских осадках // Химический анализ морских осадков. М.: Наука, 1980. С. 5–27.
4. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека / Под ред. акад. Г.К. Скрябина. М.: Наука, 1983. 424 с.
5. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: Изд-во стандартов СССР, 1980. 5 с.
6. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Госстандарт России, 2001. 48 с.
7. Морева О.Ю., Ершова А.А., Чупаков А.В., Климов С.И., Неверова Н.В. Биогенные элементы в оценке экологического состояния водных экосистем Архангельской области // Юдахинские чтения. Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI в.: сборник материалов конференции, 15–18.09.2014 г. Архангельск: ИЭП Севера РАН, 2014. С. 162–166.
8. ПНД ф 14.1:2:4.132-98. Методика выполнения измерений массовой концентрации анионов: нитрита, нитрата, хлорида, фторида, сульфата и фосфата в пробах природ-

- ной питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии. М.: Госкомитет РФ по охране окружающей среды, 2008. 21 с.
9. Подземные воды СССР. Т. 5. Обзор подземных вод Архангельской области. Вып. I. Гидрогеологический очерк. М.: [б/и], 1968. 60 с.
 10. РД 52.24.450-2010. Массовая концентрация сероводорода и сульфидов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с N,N-диметил-п-фенилендиамином. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2010. 50 с.
 11. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: ВНИРО, 2003. 202 с.
 12. Титова К.В., Кокрятская Н.М. Сульфатредукция и анаэробная минерализация органического вещества в донных отложениях озера Нижнее (Архангельская область) // Геология морей и кеанов: материалы XX международной научной конференции (Школы) по морской геологии, 18–22 ноября 2013 г. Т. IV. М.: Геос, 2013. С. 150–154.
 13. Титова К.В., Кокрятская Н.М., Жибарева Т.А. Сульфатредукция в донных отложениях озера Белое (Архангельская область) // Геология морей и океанов: материалы XXII международной научной конференции (Школы) по морской геологии, 20–24 ноября 2017 г. Т. IV. М.: ИО РАН, 2017. С. 210–214.
 14. Титова К.В., Кокрятская Н.М., Жибарева Т.А., Е.А. Вахрамеева Е.А. Распределение соединений серы как результат протекания процесса сульфатредукции в пресноводном озере Святое // Труды Карельского НЦ. Серия Лимнология. 2017. № 10. С. 28–37.
 15. Титова К.В., Кокрятская Н.М., Панова Т.А. Оценка влияния хозяйственно-бытовой деятельности на протекание процесса сульфатредукции (по распределению соединений серы) в донных отложениях малого озера Святого (Коношский район Архангельской области) // Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика). Петрозаводск: КНЦ РАН, 2016. С. 371–378.

REFERENCES

1. [Atlas of the Arkhangelsk region]. Ed. N.A. Morgunova. Moscow, GUGK Publ., 1976. 72 p.
2. Volkov I.I. [Geochemistry of sulfur in the sediments of the ocean]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 272 p.
3. Volkov I.I., Zhabina N.N. [Methods of determination of various sulfur compounds in sea sediments]. *Khimicheskii analiz morskikh osadkov* [Chemical analysis of marine sediments]. Moscow, Nauka Publ., 1980, pp. 5–27.
4. [The global biogeochemical sulphur cycle and influence of human activity on it]. Under the editorship of Akad. G.K. Skryabin. Moscow, Nauka Publ., 1983. 424 p.
5. GOST 17.1.5.01-80. [Protection of nature. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water bodies for analysis of contamination]. Moscow, Izd-vo standartov SSSR Publ., 1980. 5 p.
6. GOST R 51592-2000. [Water. General requirements for sampling]. Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 2001. 48 p.
7. [Biogenic elements in assessing the ecological state of water ecosystems of the Arkhangelsk region] *Yudakhinskii chteniya. Geodinamika i ekologiya Barents-regiona v XXI v.: sbornik materialov konferentsii*, 15-18.09.2014 g [Yudakhin reading. Geo-dynamics and ecology of the Barents region in the XXI century: conference proceedings, 15–18.09.2014]. Moreva O.Yu., Ershova A.A., Chupakov A.V., Klimov S.I., Neverova N.V. Arkhangelsk, IEP Severa RAN Publ., 2014. pp. 162-166.
8. PND f 14.1:2:4.132-98. [Technique for measuring the mass concentration of anions: nitrite,

- nitrate, chloride, fluoride, sulfate and phosphate in samples of natural, drinking and waste water by ion chromatography]. Moscow, Goskomitet RF po okhrane okruzhayushchei sredy Publ., 2008. 21 p.
9. [Underground waters of the USSR], vol. 5. Overview of groundwater in the Arkhangelsk region. Issue I. Hydrogeological essay. Moscow, [b/i] Publ., 1968. 60 p.
 10. RD 52.24.450-2010. [Mass concentration of hydrogen sulphide and sulfides in water. Method for performing measurements by photometric method with N, N-dimethyl-p-phenylenediamine]. Rostov-on-don, Rosgid-romet Publ., 2010. 50 p.
 11. [Manual on chemical analysis of marine and fresh water in environmental monitoring of fishery ponds and prospective fishing areas of the World ocean]. Moscow, VNIRO Publ., 2003. 202 p.
 12. Titova K.V., Kokryatskaya N.M. [Sulphate reduction and anaerobic mineralization of organic matter in bottom sediments of the lake Nizhnee (Arkhangelsk oblast)] *Geologiya morei i okeanov: materialy XX mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Shkoly) po morskoi geologii*, 18-22 noyabrya 2013 g. T. IV [Geology of the seas and oceans: materials of XX international scientific conference (School) on marine geology, 18–22 November 2013 V. IV]. Moscow, Geos Publ., 2013, pp. 150–154.
 13. Titova K.V., Kokryatskaya N.M., Zhibareva T.A. [Sulphate reduction in the sediments of the lake Beloe (Arkhangelsk oblast)] *Geologiya morei i okeanov: materialy XXII mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Shkoly) po morskoi geologii*, 20–24 noyabrya 2017 g. T. IV [Geology of seas and oceans: proceedings of the XXII international scientific conference (School) on marine geology, 20–24 November 2017 V. IV]. Moscow, IO RAN Publ., 2017, pp. 210–214.
 14. Titova K.V., Kokryatskaya N.M., Zhibareva T.A. E.A., Vakhrameeva E.A. [The distribution of sulfur compounds as a result of the process of sulfate reduction in freshwater lake Svyatoye]. *Trudy Karel'skogo NTS. Seriya Limnologiya*, 2017, no. 10, pp. 28–37.
 15. Titova K.V., Kokryatskaya N.M., Panova T.A. [Assessment of the impact of household activities on the process flow sulfate products (i.e. sulfur compounds) in the sediments of the small lake Svyatoye (Konosha district of the Arkhangelsk region)] *Vodnye resursy: izuchenie i upravlenie (limnologicheskaya shkola-praktika)* [Water resources: investigation and management (Limnology school-practice)]. Petrozavodsk, KNTS RAN Publ., 2016, pp. 371–378.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Титова Ксения Владимировна – кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории экоаналитических исследований Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН;
e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Кокрятская Наталья Михайловна – кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией экоаналитических исследований Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН;
e-mail: nkokr@yandex.ru

Жибарева Татьяна Александровна – младший научный сотрудник лаборатории экоаналитических исследований Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН;
e-mail: ostrivok.vi_nt@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kseniya V. Titova – PhD in Geographical Sciences, researcher of the Laboratory of Ecoanalytical Research at the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research;
e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Natalia M. Kokryatskaya – PhD in Geological and Mineralogical Sciences, head of the Laboratory of Ecoanalytical Research at the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research;
e-mail: nkokr@yandex.ru

Tatyana A. Zhibareva – junior researcher of the Laboratory of Ecoanalytical Research at the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research;
e-mail: ostrivok.vi_nt@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА

Титова К.В., Кокрятская Н.М., Жибарева Т.А. Процесс сульфатредукции в пресноводных озерах (Белое, Нижнее, Святое) Коношского района Архангельской области // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки, 2017. № 4. С. 123–134.

DOI: 10.18384/2310-7189-2017-4-123-134

FOR CITATION

K. Titova, N. Kokryatskaya, T. Zhibareva. Process of Sulfatredution in Freshwater Lakes (Beloe, Nizhnee, Svyatoye) of Konosh District of Arkhangelsk Region. In: *Bulletin of Moscow Region State University*. Series: Natural Sciences, 2017. no. 4, pp. 123–134.

DOI: 10.18384/2310-7189-2017-4-123-134