

## ГЕОХИМИЯ СЕРЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ОЗЕРА МОГИЛЬНОЕ (О. КИЛЬДИН БАРЕНЦЕВО МОРЕ)

Г.Н. Лосюк\*, Н.М. Кокрятская\*, А.Н. Василенко\*\*, В.А. Ефимов\*\*,  
Е.Д. Краснова\*\*\*, Д.А. Воронов\*\*\*\*

\*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика  
Н.П. Лаврова РАН, г. Архангельск, glosyuk@yandex.ru, kokr@yandex.ru

\*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, roxifixat@yandex.ru

\*\*\*Беломорская биологическая станция имени Н.А. Перцова Биологического факультета  
МГУ, Москва, e\_d\_krasnova@mail.ru;

\*\*\*\*Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН; НИИ физико-  
химической биологии им. А.Н. Белозерского, МГУ, Москва, da\_voronov@mail.ru

## SULFUR GEOCHEMISTRY IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE LAKE MOGILNOE (O. KILDIN OF THE BARENTS SEA)

G.N. Losyuk\*, N.M. Kokryatskaya\*, A.N. Vasilenko\*\*, V.A. Efimov\*\*,  
E.D. Krasnova\*\*\*, D.A. Voronov\*\*\*\*

\*N.Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk

\*\*M.V. Lomonosov Moscow State Universities, Moscow

\*\*\*Pertsov White Sea Biological Station, Moscow State Universities, Moscow

\*\*\*\*Kharkevich Institute for Information Transmission Problems, Russian Academy of Sciences,  
Moscow; Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Moscow State Universities, Moscow

Аннотация. В работе представлены результаты исследований донных осадков оз. Могильного (о. Кильдин Баренцево море), отобранных в ходе экспедиционных работ в июне 2019 г. Впервые получены сведения о распределении соединений восстановленной серы (сульфидной серы, пиритной, элементной и органической) – производных бактериального сероводорода. Наибольший вклад в содержании общей восстановленной серы вносят пиритная и органическая формы (до 96%).

Ключевые слова: донные осадки, соединения восстановленной серы, сульфатредукция.

### Введение

Одно из самых известных и давно исследуемых озер России за полярным кругом – озеро Могильное, расположенное на о. Кильдин в Баренцевом море, до сих пор привлекает ученых разных направлений. Первые сведения об этом уникальном водоеме были получены еще в конце XIX века, далее в течение столетия на озере проводилось несколько комплексных экспедиций, результаты которых изложены в трудах [3,4,6-8]. Озеро Могильное – анхалиновое морское озеро, единственное в России, образовалось путем отделения небольшого морского залива естественной дамбой, через которую соленая вода просачивается в озеро. Данный водоем известен не только уникальным подвигом атлантической трески – кильдинской, который обитает только в этом водоеме, но и «классической» меромиктической структурой водной толщи: пресного верхнего слоя, соленого морского посередине и придонного, зараженного токсичным и губительным для всего живого сероводородом. За последнее столетие установлено, что граница распространения сероводорода (продукта бактериального восстановления сульфатов в анаэробных условиях – сульфатредукции) поднимается, а его концентрация, постоянно увеличивается. По результатам исследований 2018-2019 годов установлено, что уровень сероводородного заражения поднял-

ся до глубины 7,5 м, а максимальные концентрации в июне 2019 г. составили 210 мг/л в придонных слоях [5].

### **Объекты и методы**

Процесс сульфатредукции протекает не только в водной толще озера, но и продолжается в донных отложениях, в результате чего в осадках идет накопление производных бактериального сероводорода – соединений восстановленной серы [8]. Целью данной работы было получить первые данные о распределении восстановленных соединений серы в донных осадках оз. Могильное.

В работе представлены результаты исследований донных отложений, отобранных в ходе экспедиции на оз. Могильном в июне 2019 г. ударной прямоточной грунтовой трубкой в наиболее глубокой точке (рис. 1) и проанализированных по методике [2].

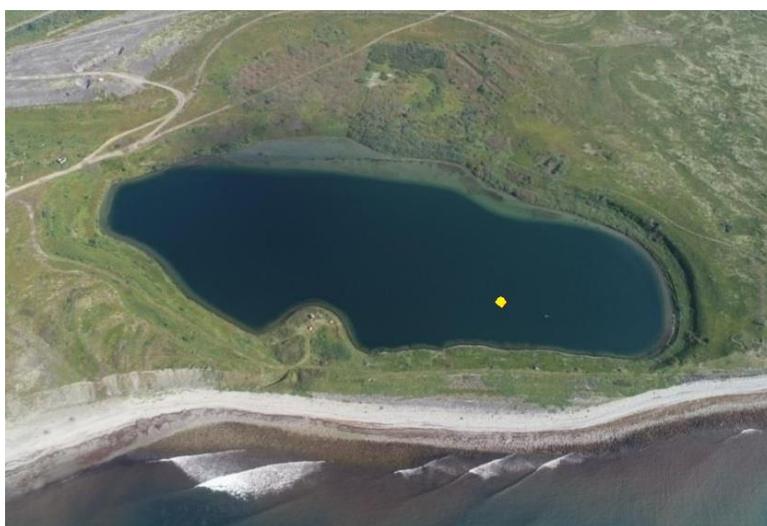


Рис. 1. Карта – схема расположения точки отбора донных осадков на оз. Могильное.

### **Обсуждение результатов**

В наиболее глубокой части озера Могильного был отобран керн донных осадков длиной 18 см (место отбора указано на рис.1), ниже залегает плотный грунт, отобрать который не представляется возможным. Верхние 10 см керна представлены обводненным коричневым илом, а нижние слои - плотная песчаная фракция; влажность образцов уменьшалась от 87,5 до 35,6% от верхних горизонтов отложений к нижним.

В донных осадках в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий в бескислородных условиях идет образование сероводорода, который трансформируется в ряд соединений восстановленной серы, а именно моносульфидной серы, пиритной, элементной и органической [1].

В результате исследования получено, что количество кислоторастворимой моносульфидной серы ( $S^{2-}$ ) очень небольшое (среднее значение по колонке ~ 0,006%) и уменьшается от верхних горизонтов к нижним: от 0,009% до 0,002% (здесь и далее все концентрации даны в расчёте на сухое вещество осадков) (Рис. 2). Значения концентраций элементной серы ( $S^0$ ) также очень

небольшие от 0,009 до 0,013%, и сохраняют ту же тенденцию к уменьшению от верхних слоев к нижним. Содержание пиритной и органической серы на порядок выше: максимальное количество пиритной серы ( $S_{\text{пир}}$ ) в поверхностных слоях (0,174%), минимальное на глубине 18 см – 0,059%; распределение органически связанной серы ( $S_{\text{орг}}$ ) примерно такое же (0,0175% в поверхностном слое и 0,085% в нижнем).

Содержание общей восстановленной серы ( $\Sigma S_{\text{H}_2\text{S}}$ ) в донных отложениях оз. Могильного изменялось от 0,16 до 0,37%, при среднем количестве 0,24%. Распределение по колонке  $\Sigma S_{\text{H}_2\text{S}}$  аналогично распределению слагающих её форм – оно уменьшается от поверхностных горизонтов к нижележащим. Наибольший вклад в формирование общей восстановленной серы по всему керну осадков вносят пиритная и органическая форма примерно в равных долях: по 47% в верхних слоях и 38 и 55% соответственно в нижних; вместе они составляют 93-96% от  $\Sigma S_{\text{H}_2\text{S}}$ . Содержание остаточной, не израсходованной в процессе сульфатредукции сульфатной серы ( $S_{\text{слф}}$ ) значительно уменьшается по колонке от 0,90 до 0,12%. Полученное распределение форм восстановленной серы в донных осадках озера Могильного аналогично данным для верхних слоев морских осадков с микроаэрофильными условиями, хотя в абсолютных значениях их концентрации невелики [1].

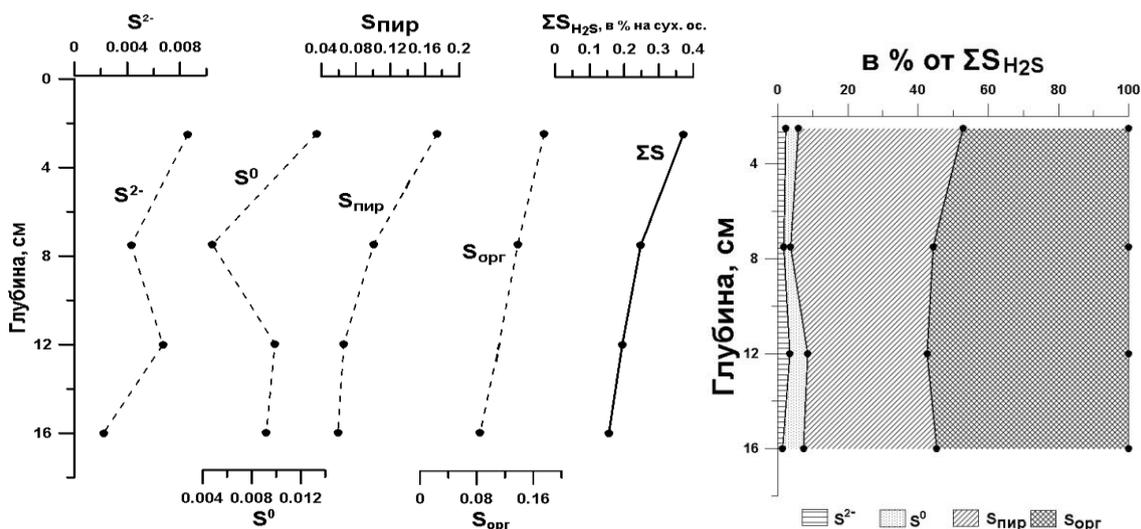


Рис. 2. Распределение соединений восстановленной серы в донных осадках оз. Могильное.

### Выводы

Таким образом, впервые были получены данные по распределению соединений восстановленной серы (сульфидной, пиритной, элементной и органической серы) – продуктов трансформации бактериального сероводорода, в донных осадках оз. Могильного. Наибольший вклад в содержание общей восстановленной серы вносят пиритная и органическая формы - примерно в равных долях, вместе они составляют до 96% от общего содержания восстановленной серы осадков, что характерно для верхних горизонтов морских осадков с микроаэрофильными условиями.

## Литература

- [1] Волков И.И. Геохимия серы в осадках океана. М.; Наука, 1984, 272 с.
- [2] Волков И.И., Жабина Н.Н. Методы определения различных соединений серы в морских осадках//Химический анализ морских осадков. Под ред. Э.А. Остроумова. М.; Наука, 1980, С.5-27.
- [3] Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцовом море) // Труды Петергофского естественно-научного института. №2, Л., 1925.
- [4] Реликтовое озеро Могильное. Ред. Гуревич В.И., Цеев Р.Я. Л.: Наука, 1975, 298 с.
- [5] Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М., Василенко А.Н., Воронов Д.А., Ефимов В.А., Краснова Е.Д. Прогрессирующее сероводородное заражение озера Могильного по данным экспедиции 2019 года // В сборнике: Геология морей и океанов: Материалы XXII международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.; ИО РАН, 2019, С. 175-178.
- [6] Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997-2000 гг.). Мурманск: Изд-во. ПИНРО. 2002, 164 стр.
- [7] Krasnova Elena D., Vassilenko Alexander N., Voronov Dmitry A., Efimov Basily A., Kokryatskaya Natalya M., Kossenkov Alexey V., Patsaeva Svetlana V., Dedyk Mikhail L., Frolova Natalya L., Strelkov P.P. New data on Lake Mogilnoe (Kildin Island, Barents Sea): results of the 2018 expeditions // Тезисы докладов международной конференции, посвящённой 80-летию ББС МГУ им. Н.А. Перцева, «Морская биология, геология, океанология – междисциплинарные исследования на морских стационарах (Москва 19-21 ноября 2018 г.). М.; Товарищество научных изданий КМК, 2018, С.66-67. ISBN 978-5-907099-39-5.
- [8] Krasnova E.D., Efimov V.A., Fedyuk M.L., Frolova N. L., Kokryatskaya N.M., Kossenkov A.V., Patsaeva S.V., Vasilenko A.N., Voronov D.A. and Strelko P.P. New data on Lake Mogilnoe (Kildin Island, Barents Sea): the results of the 2018 expeditions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 263 (2019) 012019. doi:10.1088/1755-1315/263/1/012019

**S u m m e r y.** The paper presents the results of studies of bottom sediments of Lake Mogilnoe (Kildin Island of the Barents Sea), selected during expeditionary work in June 2019. For the first time, information was obtained on the distribution of reduced sulfur compounds (sulfide sulfur, pyrite, elemental and organic) - derivatives of bacterial hydrogen sulfide. The pyrite and organic forms (up to 96%) make the largest contribution to the total reduced sulfur content.

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.И. ГЕРЦЕНА  
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ  
НОЦ «ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»  
ИНСТИТУТ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ РАН  
РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

RUSSIAN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY OF A.I. HERZEN  
FACULTY OF GEOGRAPHY  
REC «ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT»  
LIMNOLOGY INSTITUTE OF RAS  
RUSSIAN GEOGRAPHIC SOCIETY

**География:  
развитие науки и образования  
Geography: Development of  
Science and Education**

**I**

Коллективная монография  
по материалам ежегодной международной научно-практической  
конференции LXXIII Герценовские чтения 22-25 апреля 2020 года

Collective monograph  
on the materials of Scientific-Practical Conference  
LXXIII Herzen readings 22-25 April 2020

Санкт-Петербург  
2020

## Рецензенты:

*Д.В. Севастьянов, Ал.А. Григорьев*

## Ответственные редакторы:

*С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина*

## Редакционная коллегия:

*Д.А. Гдалин, Ю.Н. Гладкий, С.В. Ильинский, В.Ф. Куликов, С.И. Махов, Л.Г. Мачавариани,  
В.Г. Мосин, Е.М. Нестеров, Л.А. Пестрякова, В.Д. Сухоруков*

## Техническое редактирование:

*А.С. Баранов, М.А. Бахир, В.В. Брылкин, И.М. Греков, А.А. Дмитриева, Ю.А. Кублицкий,  
М. Морозова, Р. Паранин, А.Н. Паранина*

**География: развитие науки и образования. Том I.** Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 22-25 апреля 2020 года / Отв. ред. С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. – СПб: Астерион, Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. – 498 с.

**Geography: development of science and education. Part I.** Collective monograph on materials of the scientific and practical conference LXXIII Gertsenovskiy readings, St. Petersburg, RSPU of A.I. Herzen, on April 22-25, 2020 / by ed. S.I. Bogdanov, D.A. Subetto, A.N. Paranina. – St. Petersburg: Asterion, Publ. house of Herzen State Pedagogical University of Russia, 2020. – 498 p.

Коллективная монография «География: развитие науки и образования» отражает результаты работы научно-практической конференции 73 Герценовские чтения, посвященной важной географической дате – 200-летию открытия Антарктиды экспедицией Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева, а также людям, связанным с историей герценовского университета:

150-летию со дня рождения Э.Ф. Лесгафта, 145-летию со дня рождения Г.Г. Шенберга, 140-летию со дня рождения В.Н. Сукачева; 130-летию со дня рождения Б.Н. Городкова, 130-летию со дня рождения В.Н. Васильева, 120-летию со дня рождения А.Д. Гожева, 110-летию со дня рождения А.В. Даринского, 110-летию со дня рождения В.Г. Махлаева, 105-летию со дня рождения П.Г. Сутягина, 100-летию со дня рождения Ю.Д. Дмитриевского, 90-летию со дня рождения Е.В. Максимова, 90-летию со дня рождения И.В. Игнатенко, 90-летию со дня рождения Д.П. Финарова.

Материалы монографии сгруппированы в два тома. Том I включает вступительную теоретическую главу и разделы: 1. физическая география: направления, методы и междисциплинарные исследования; 2. полярные исследования и пути освоения Арктики и Антарктики; 3. современные проблемы теоретической и прикладной лимнологии и гидрологии; 4. эволюционная и историческая география, ритмика процессов и явлений. Том II включает разделы: 1. геоэкология, природопользование и охрана окружающей среды; 2. социально-экономические системы и географические аспекты глобализации; 3. развитие географического образования; 4. регионоведение, краеведение, туризм, природное и культурное наследие.

*Материалы публикуются в авторской редакции*

ООО «Астерион»  
ISBN 978-5-00045-867-9 (общий)  
ISBN 978-5-00045-868-6 (1 том)

Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена  
ISBN 978-5-8064-2885-2

© Издательство «Астерион», 2020  
© Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2020  
© Институт озероведения РАН, 2020  
© РГО, 2020  
© Авторы статей, 2020