

УДК 551.46

Сравнительная литологическая характеристика современных осадков Карского и Печорского морей

И. В. Чикирёв*, А. С. Ульяновцев, С. Л. Никифоров, Н. О. Сорохтин,
Р. А. Ананьев, Н. Н. Дмитриевский, Н. В. Либина, Г. А. Ковалев

*Апатитский филиал МГТУ, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия;

Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия;

e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4208-4332>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
15.01.2020;

получена
после доработки
24.02.2020

Ключевые слова:
литология,
донные осадки,
рельеф,
Карское море,
Печорское море

Для цитирования

Глобальное потепление климата и усиление антропогенной нагрузки на арктический шельф способствуют развитию термоабразивных процессов побережья западного сектора российской Арктики. Комплексное исследование (геофизическое, гидроакустическое, геолого-геоморфологическое и гидрофизическое) верхней осадочной толщи и рельефа дна Карского и Печорского морей осуществлено в июне – июле 2019 г. в ходе рейса научно-исследовательского судна "Академик Николай Страхов". Для проведения опробования современных осадков использовались дночерпатели и ударная грунтовая трубка. Места отбора проб определялись на основе анализа данных батиметрической съемки дна и непрерывного сейсмопрофилирования. В результате проведенных исследований выполнено картирование рельефа и современных осадков в пределах Карского и Печорского морей и установлено, что для Печорского бассейна характерны различные типы осадков и отложений (пелитовые илы, алевроито-пелитовые илы, глины, алевроиты, пески и моренные отложения), а в Карском море в основном распространены тонкие осадки (пелитовые илы). Небольшое количество песков и алевроитов среди донных осадков Карского бассейна следует связывать с незначительным привносом в него терригенного обломочного материала с континента и его глубоководностью. Широкое распространение в южной и центральной частях Печорского моря псаммитовых фаций обусловлено его мелководностью, интенсивной поставкой большого количества песчано-алевритового материала речным стоком, процессами солифлюкции и термоабразии берегов. В 2020 г. планируется очередной рейс НИС "Академик Николай Страхов" для продолжения исследования верхней осадочной толщи и рельефа дна морей западного сектора российской Арктики с целью обоснования наиболее вероятного сценария развития изменения природной обстановки на шельфе, связанного прежде всего с сокращением площади ледового покрова.

Чикирёв И. В. и др. Сравнительная литологическая характеристика современных осадков Карского и Печорского морей. Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 1. С. 93–101. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-1-93-101

Comparative lithological characteristics of modern sediments of the Kara and Pechora Seas

Igor V. Chickiryov*, Alexander S. Ulyantsev, Sergey L. Nikiforov, Nikolay O. Sorokhtin,
Roman A. Ananiev, Nikolay N. Dmitrevsky, Nataliya V. Libina, Gleb A. Kovalev

*Apatity Branch of Murmansk State Technical University, Apatity, Russia;

Geological Institute KSC RAS, Apatity, Russia;

e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4208-4332>

Article info

Received
15.01.2020;

received
in revised
24.02.2020

Key words:
lithology,
bottom sediments,
landscape,
Kara Sea,
Pechora Sea

For citation

Abstract

Global climate warming and increased anthropogenic pressure on the Arctic shelf contribute to the development of thermoabrasive processes along the coast of the western sector of the Russian Arctic. Comprehensive geophysical, hydroacoustic, geological-geomorphological, and hydrophysical scientific studies were carried out within the Kara and Pechora Seas in June – July 2019, during the 41st cruise of the R/V *Akademik Nikolai Strakhov*. To test modern sediments, bottom grabbers and shock tube were used. The sampling points were selected based on the materials of continuous seismic profiling and bathymetric bottom survey. As a result of the studies, mapping of the relief and modern sediments within the Kara and Pechora Seas has been carried out and it has been found that the Pechora basin is characterized by various types of sediments and deposits (pelitic mud, aleurite-pelitic mud, clay, silt, sand, moraine deposits), and the Kara Sea is mainly inhabited by thin sediments (pelitic mud). A small amount of sand and siltstone among the bottom sediments of the Kara basin should be associated with an insignificant introduction of terrigenous clastic material from the continent and its deep water. The wide distribution in the southern and central parts of the Pechora Sea of psammitic facies is due to its shallow water, intensive supply of a large amount of sand-silty material by river flow, processes of solifluction and thermal abrasion of the coasts. In 2020, the next flight of the R/V *Akademik Nikolai Strakhov* is planned to continue the study of the upper sedimentary stratum and topography of the seabed of the western sector of the Russian Arctic. The purpose of the study is to substantiate the most likely scenario for the development of changes in the natural environment on the shelf, associated primarily with a reduction in the area of ice cover.

Chickiryov, I. V. et al. 2020. Comparative lithological characteristics of modern sediments of the Kara and Pechora Seas. *Vestnik of MSTU*, 23(1), pp. 93–101. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-1-93-101

Введение

Карское и Печорское моря являются частью арктического шельфа России. Потепление климата способствует повышению активности процессов термоабразии арктического побережья и, как следствие, усилению выноса обломочного материала в прибрежную зону (Никифоров и др., 2016; Ульяновцев и др., 2019). Дальнейшее развитие термоабразионных процессов может повлечь за собой изменение фарватера Северного морского пути, проходящего в относительной близости от береговой линии.

В 2019 г. в ходе 41-го рейса научно-исследовательского судна (НИС) "Академик Николай Страхов" были проведены геологические, геофизические, гидроакустические, геоморфологические и гидрофизические исследования в пределах Карского и Печорского морей, а также осуществлено картирование рельефа, современных осадков и дана оценка возможных негативных последствий изменения природной обстановки на арктическом побережье Российской Федерации.

Основная цель комплексного научного изучения заключалась в обосновании прогноза эволюции природной обстановки в районе шельфа Карского и Печорского морей в связи с наблюдающимся глобальным потеплением климата Арктики, а также с прогнозируемым усилением антропогенной нагрузки на арктический шельф, обусловленным ростом добычи углеводородного сырья. Для решения поставленной задачи были изучены морские осадки Карского и Печорского морей, установлены закономерность их пространственного распределения и связь с различными формами рельефа.

Материалы и методы

При проведении опробования современных осадков Карского и Печорского морей использовались дночерпатели и ударная грунтовая трубка. Места отбора проб определялись на основе анализа данных батиметрической съемки дна и непрерывного сейсмопрофилирования.

С целью отбора проб осадков нарушенного сложения использовались дночерпатели "Океан-0,1" массой 40 кг, объемом 15 л, площадью 0,1 м² и "Океан-0,25" массой 150 кг, объемом 100 л, площадью 0,25 м² (рис. 1).



Рис. 1. Дночерпатель "Океан-0,25"

Fig. 1. The grab "Ocean-0.25"

Спуск и подъем дночерпателя осуществлялся с помощью лебедки. В момент достижения дна срабатывал замыкатель, и дночерпатель захлопывался, захватывая верхнюю часть (не более 20 см) осадочного слоя морских осадков.

После подъема на борт дночерпателя отбиралась и запаковывалась в пластиковый маркированный пакет проба весом около 1 кг для дальнейшего проведения минералогического, гранулометрического, геохимического и рентгеноструктурного анализа в камеральных условиях. Грубообломочный материал (обломки пород более 1 см) отбирался для проведения микроскопического анализа. В геологической лаборатории на борту судна проводилось фотодокументирование пробы и ее литологическое описание.

При отборе проб ненарушенных колонок донных отложений использовалась ударная грунтовая трубка УГТ-147 (наружный диаметр 147 мм; внутренний диаметр 138 мм). Трубка состояла из трех секций, позволяющих регулировать ее длину (3, 5 и 8 м). В основании УГТ-147 был расположен наконечник с запирающим механизмом (лепестковым кернорвателем); в верхней части трубки находилось оголовье с грузами общим весом до 1 000 кг и клапан.

В течение 41-го рейса НИС "Академик Николай Страхов" использовалась колонковая труба длиной 5 м (длина оголовья 1 м) с шестью грузами (каждый груз имел вес 80 кг). Спуск и подъем УГТ-147 осуществлялся с использованием лебедки и П-рамы (рис. 2).



Рис. 2. Спускоподъемные работы с использованием УГТ-147 на корме НИС "Академик Николай Страхов"

Fig. 2. Tripping works with 147 shock tube at the stern of the R/V *Akademik Nikolai Strakhov*

Извлечение керна на борту судна осуществлялось с помощью гидранта. Керн разрезался на секции длиной около 1,2 м и укладывался в лотки. Затем в геологической лаборатории производилась первичная обработка керна, включающая его продольное разделение на две части, зачистку и фотодокументирование. Половина керна упаковывалась в маркированные пластиковые пакеты и помещалась в морозильную камеру при температуре -18°C для дальнейшего хранения, другая часть использовалась для описания и отбора проб.

После литологического описания кернов намечались уровни для отбора проб, предназначенных для минералогического, гранулометрического, геохимического и рентгеноструктурного анализа. Вес отобранных проб, как правило, составлял около 1 кг. Грубообломочный материал (обломки пород размером более 1 см) направлялся для проведения микроскопического анализа.

Описание различных типов донных осадков осуществлялось по методике, предложенной А. П. Лисицыным и В. П. Петелиным (*Лисицын и др., 1956*). Типы морских донных осадков выделялись согласно классификации П. Л. Безрукова, А. П. Лисицына (*Безруков и др., 1960*), а типы терригенных осадков – в соответствии с классификацией Н. В. Логвиненко, Э. И. Сергеевой (*Логвиненко и др., 1986*) и В. Н. Шванова (*Систематика и классификация осадочных пород..., 1998*).

Результаты и обсуждение

Исследования в Печорском море, проведенные в ходе 41-го рейса НИС "Академик Николай Страхов", позволили сделать вывод о разнообразии типов донных отложений (*Печорское море: системные исследования, 2003*). Описание типов осадков и отложений Печорского бассейна – пелитовых илов, алевроито-пелитовых илов, глин, алевроитов, песков и моренных отложений – рассмотрено нами в работе (*Ульянцев и др., 2019*).

В отличие от Печорского моря в пределах Карского моря наблюдается достаточно выдержанный состав донных осадков. Здесь по всей площади преимущественно распространена фация тонких осадков – пелитовые илы серо-желтого (оливкового) цвета, обводненные, вязкопластичные, с незначительной примесью алевроитового и песчаного материала. По всему разрезу широко распространены тонкие (2–3 мм) прослойки

и линзы гидротроилита черного цвета. Встречаются многочисленные трубочки полихет диаметром 2 мм и длиной до 14 см. Редко отмечаются единичные обломки раковин двустворок размером до 1–3 см. Верхний слой мощностью до 2 см имеет, как правило, рыжеватый оттенок за счет процессов окисления. Преобладают однородные и биотурбационные текстуры. Согласно данным рентгеноструктурного анализа по составу илы относятся в основном к группе каолинита с незначительной примесью гидрослюд, что является показателем их терригенного генезиса (рис. 3).



Рис. 3. Пелитовые илы оливкового цвета
Fig. 3. Olive green pelite muds

В пределах Карского моря встречаются разновидности пелитовых илов:
– пелитовые илы с окисленным верхним слоем шоколадного цвета; зона окисления по мощности может варьировать от 0,5 до 16 см, но не превышает 2–3 см (рис. 4);



Рис. 4. Пелитовые илы шоколадного цвета
Fig. 4. Chocolate-colored pelite muds

– пелитовые илы, содержащие железомарганцевые конкреции и корки; конкреции характеризуются концентрически-зональным строением и уплощенной ("лепешковидной") формой, размер их меняется от 1 до 10 см при преобладающих значениях 4–6 см (рис. 5); корки имеют размеры от 1 до 5 см и образуются вокруг обломков различного петрографического состава; наличие железомарганцевых конкреций и корок в Карском бассейне отмечалось исследователями в работах (Батурин, 2011; Дроздова и др., 2018);



Рис. 5. Железомарганцевые конкреции
Fig. 5. Ferromanganese nodules

– пелитовые илы с "пудинговыми" включениями плохо окатанного обломочного материала галечной размерности; обломки, как правило, средней и плохой окатанности и имеют размер 0,5–7 см при преобладающих значениях 2–3 см; среди обломочного материала в поднятых со дна осадках обнаружены песчаники, алевролиты, сланцы, широко распространенные в пределах архипелага Новая Земля (рис. 6).



Рис. 6. Грубообломочный материал в айсберговых отложениях
Fig. 6. Coarse clastic material in iceberg sediments

Соотношение различных разновидностей пелитовых илов в разрезе представлено на рис. 7.

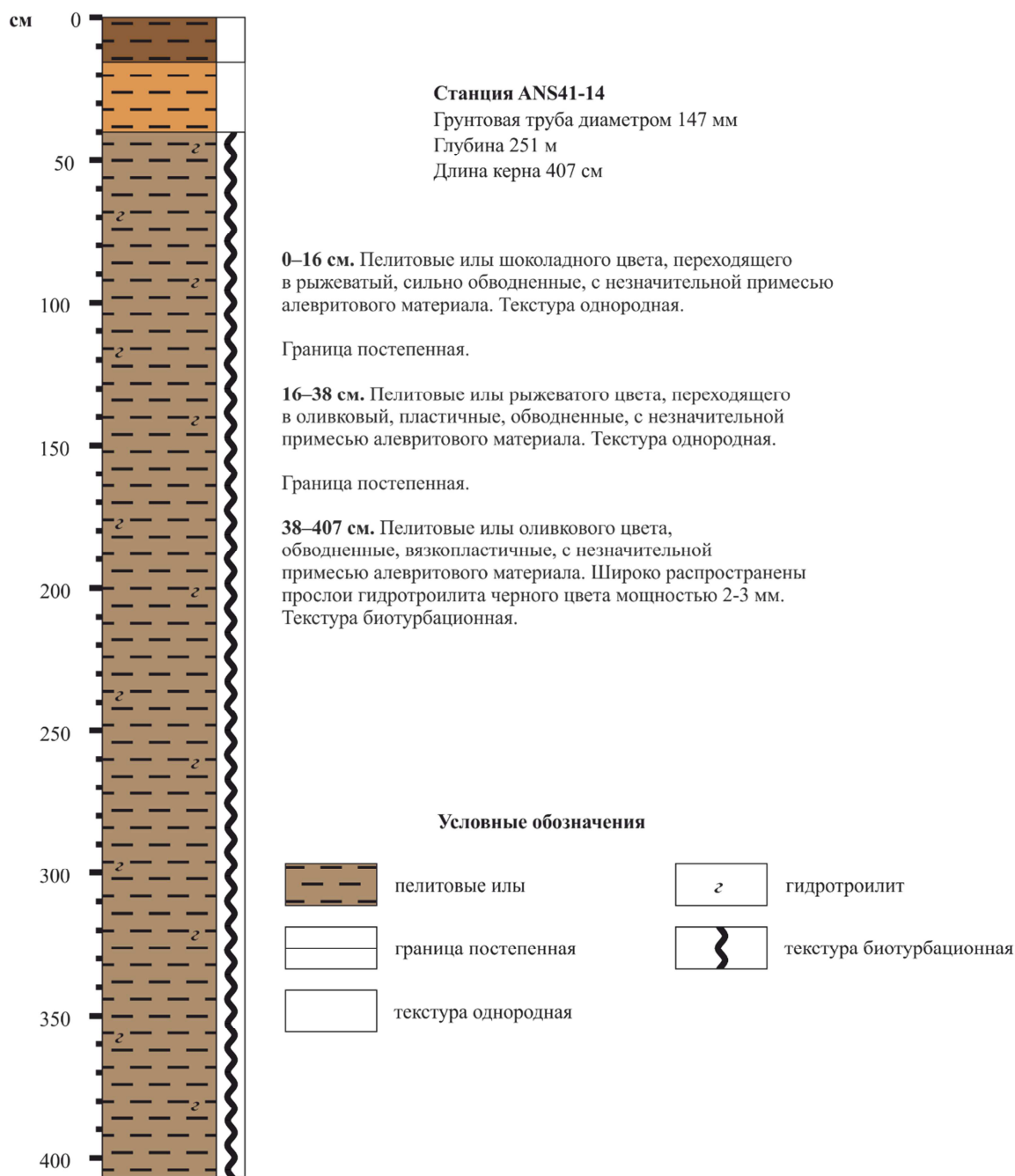


Рис. 4. Соотношение различных типов пелитов в кернах донных отложений
 Fig. 4. The ratio of different types of pelite muds in the core sample

Заключение

Сравнительная характеристика современных донных осадков Печорского и Карского морей позволяет выявить существенные отличия между ними.

Небольшое количество песков и алевритов в Карском бассейне обусловлено его глубоководностью и незначительным привносом терригенного обломочного материала с континента. Широкое развитие псаммитовых фаций в южной и центральной частях Печорского моря определяется его мелководностью, интенсивной поставкой большого количества песчано-алевритового материала речным стоком, а также процессами солифлюкции и термоабразии берегов.

В наиболее глубоководных частях Карского моря, включая и зону Восточно-Новоземельского желоба, верхний окисленный слой пелитовых илов приобретает шоколадный цвет, что свидетельствует об интенсивных процессах окисления верхней части осадков за счет донных течений, насыщенных кислородом.

С зонами интенсивного окисления осадков в Карском море обычно связано присутствие в пелитовых илах железомарганцевых конкреций и корок, формирование которых, вероятно, проходило на геохимическом барьере, соответствующем границе окисленных и восстановленных илов.

Особенностью донных осадков Карского моря является наличие пелитовых илов с "пудинговыми" включениями плохо окатанного обломочного материала галечной размерности. Формирование таких осадков следует связывать с транспортирующей деятельностью айсбергов, оторвавшихся от береговых и/или шельфовых ледников архипелага Новая Земля (по мере таяния айсбергов обломки крупнообломочного материала, захваченного льдом, погружались на дно бассейна и захоранивались в осадках). Наиболее широко айсберговые осадки распространены вдоль восточного побережья архипелага Новая Земля (ширина зоны их распространения составляет не менее 200 км). Подобные айсберговые отложения установлены и в северо-восточной части Печорского моря, примыкающей с юго-запада к архипелагу Новая Земля, однако здесь они развиты локально.

В юго-восточной части Печорского моря широко распространены моренные отложения, выраженные в рельефе в виде отдельных гряд и являющиеся индикатором присутствия здесь ледника в поздневалдайское время (Ульянцев и др., 2019). В Карском бассейне моренных отложений в ходе рейса не было выявлено.

В восточной части Печорского моря были закартированы диапироподобные поднятия, сложенные плотными синими глинами с комковатой текстурой и, по-видимому, представляющие собой остатки криоаридных субаэральных ландшафтов. В Карском бассейне подобные структуры не были обнаружены.

Результаты исследований донных отложений Печорского и Карского морей, представленные в настоящей статье, имеют предварительный характер. В 2020 г. планируется очередной рейс НИС "Академик Николай Страхов" для продолжения исследования верхней осадочной толщи и рельефа дна морей западного сектора российской Арктики и обоснования наиболее вероятного сценария развития изменения природной обстановки на шельфе, связанного прежде всего с сокращением площади ледового покрова.

Благодарности

Работы были выполнены по темам государственного задания № 0149-2019-0005, № 0149-2019-0006, № 13-17/ГЗ и № 0226-2019-0053. Экспедиция частично финансировалась за счет средств РФФИ (проект № 18-05-60214) и РНФ (проект № 19-77-10044).

Библиографический список

- Батурин Г. Н. Вариации состава железомарганцевых конкреций Карского моря // *Океанология*. 2011. Т. 51, № 1. С. 153–161.
- Безруков П. Л., Лисицын А. П. Классификация осадков современных морских водоемов // *Труды Института океанологии / Акад. наук СССР*. Москва, 1960. Т. 32. Геологические исследования в Дальневосточных морях. С. 3–14.
- Дроздова А. Н., Шульга Н. А. Железомарганцевые конкреции Карского моря // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 3. С. 115–120.
- Лисицын А. П., Петелин В. П. К методике предварительной обработки проб морских осадков в судовых условиях // *Труды Института океанологии / Акад. наук СССР*. Москва, 1956. Т. 19. Вопросы методики океанологических исследований. С. 240–251.
- Логвиненко Н. В., Сергеева Э. И. Методы определения осадочных пород. Л.: Недра, 1986. 240 с.
- Никифоров С. Л., Лобковский Л. И., Дмитриевский Н. Н., Ананьев Р. А. [и др.]. Ожидаемые геолого-геоморфологические риски по трассе Северного морского пути // *Доклады академии наук*. 2016. Т. 466, № 2. С. 218–220. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0869565216020225>.
- Печорское море: системные исследования / под ред. Е. А. Романкевича [и др.]. М.: Море. 2003. 502 с.
- Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов / отв. ред. В. Н. Шванов. СПб.: Недра, 1998. 352 с.
- Ульянцев А. С., Чикирёв И. В., Никифоров С. Л., Сорохтин Н. О. [и др.]. Литологическая характеристика современных осадков Печорского моря // *Вестник МГТУ*. 2019. Т. 22, № 1. С. 199–206. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-1-199-206>.

References

- Baturin, G. N. 2011. Variations in the composition of ferromanganese nodules of the Kara Sea. *Oceanology*, 51(1), pp. 153–161. (In Russ.)
- Bezrukov, P. L., Lisitsyn, A. P. 1960. Classification of sediments of modern marine water bodies. *Trudy Instituta okeanologii*, 32, pp. 3–14. (In Russ.)
- Drozhdova, A. N., Shul'ga, N. A. 2018. Ferromanganese nodules of the Kara Sea. *Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy*, 3, pp. 115–120. (In Russ.)

- Lisitsyn, A. P., Petelin, V. P. 1956. To the method of pre-processing samples of marine sediments in ship conditions. *Trudy Instituta okeanologii*, 19, pp. 240–251. (In Russ.)
- Logvinenko, N. V., Sergeeva, E. I. 1986. Methods for the determination of sedimentary rocks. Leningrad. (In Russ.)
- Nikiforov, S. L., Lobkovsky, L. I., Dmitrevsky, N. N., Ananiev, R. A. et al. 2016. Expected geological and geomorphological risks along the Northern Sea Route. *Doklady Akademii nauk*, 466(2), pp. 218–220. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0869565216020225>. (In Russ.)
- The Pechora Sea: Integrated research. 2003. Ed. E. A. Romankevich et al. Moscow. (In Russ.)
- Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues. 1998. Ed. V. N. Shvanov. Saint Petersburg. (In Russ.)
- Ulyancev, A. S., Chikiryov, I. V., Nikiforov, S. L., Sorokhtin, N. O. et al. 2019. Lithological characteristics of modern sediments of the Pechora Sea. *Vestnik of MSTU*, 22(1), pp. 199–206. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-1-199-206>. (In Russ.)

Сведения об авторах

Чирикёв Игорь Владимирович – Академгородок, 50а, г. Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209; Апатитский филиал МГТУ, канд. геол.-минерал. наук, профессор; ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, науч. сотрудник; e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4208-4332>

Igor V. Chikiryov – 50а, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Apatity Branch of Murmansk State Technical University, Cand. of Sci. (Geol. & Miner.), Professor; 14, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Research Fellow; e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4208-4332>

Ульянцев Александр Сергеевич – Нахимовский пр., 36, г. Москва, Россия, 117997; Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: ulayntsev@ocean.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2230-1069>

Alexander S. Ulayntsev – 36, Nakhimovsky Ave., Moscow, Russia, 117997; P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Cand. of Sci. (Biology), Senior Researcher; e-mail: ulayntsev@ocean.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2230-1069>

Никифоров Сергей Львович – Нахимовский пр., 36, г. Москва, Россия, 117997; Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, д-р геогр. наук, гл. науч. сотрудник; e-mail: nikiforov@ocean.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5107-1402>

Sergey L. Nikiforov – 36, Nakhimovsky Ave., Moscow, Russia, 117997; P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Dr of Sci. (Geography), Leading Researcher; e-mail: nikiforov@ocean.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5107-1402>

Сорохтин Николай Олегович – Нахимовский пр., 36, г. Москва, Россия, 117997; Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, д-р геол.-минерал. наук, гл. науч. сотрудник; e-mail: nsorokhtin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2057-3693>
ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, вед. науч. сотрудник

Nikolay O. Sorokhtin – 36, Nakhimovsky Ave., Moscow, Russia, 117997; P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Dr of Sci. (Geol. & Miner.), Chief Researcher; e-mail: nsorokhtin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2057-3693>
14, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Leading Researcher

Ананьев Роман Александрович – Нахимовский пр., 36, г. Москва, Россия, 117997; Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, ст. науч. сотрудник; e-mail: ananiev@ocean.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4486-8974>

Roman A. Ananiev – 36, Nakhimovsky Ave., Moscow, Russia, 117997; P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Research Fellow; e-mail: ananiev@ocean.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4486-8974>

Дмитревский Николай Николаевич – Нахимовский пр., 36, г. Москва, Россия, 117997; Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: dmitrevsky@ocean.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1789-8895>

Nikolay N. Dmitrevsky – 36, Nakhimovsky Ave., Moscow, Russia, 117997; P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher;
e-mail: dmitrevsky@ocean.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1789-8895>

Либина Наталия Викторовна – Нахимовский пр., 36, г. Москва, Россия, 117997; Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник;
e-mail: lnatvit@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0468-326X>

Nataliya V. Libina – 36, Nakhimovsky Ave., Moscow, Russia, 117997; P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher;
e-mail: lnatvit@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0468-326X>

Ковалев Глеб Анатольевич – Институтский пер., 9, г. Долгопрудный, Московская обл., Россия, 141700; Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет), магистр;
e-mail: gleb.kovalev@phystech.edu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-9994>

Gleb A. Kovalev – 9, Institutskiy Str., Dolgoprudny, Moscow Region, Russia, 141700; Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Master's Degree Student;
e-mail: gleb.kovalev@phystech.edu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-9994>