

Научная статья
УДК 551.464.32
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.003

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДАХ БАРЕНЦЕВА И ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЕЙ

Дарья Андреевна Валуйская¹, Наталья Сергеевна Иванова²

^{1,2}Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия

¹valuyskaya@mmbi.info[✉], ²ivanova_ns@mmbi.info

Аннотация

Представлены результаты изучения содержания растворенных форм железа, марганца, хрома в поверхностном слое морской воды восточной части Баренцева моря и на участке Гренландского моря в районе архипелага Шпицберген. Материалы получены в комплексных экспедициях ММБИ РАН в 2021 и 2022 гг. Измерение концентрации микроэлементов выполнено методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием спектрометра “КВАНТ.З”. Представлены карты распределения указанных элементов в исследуемых районах. В водах изученных акваторий средняя концентрация тяжелых металлов не превышала предельно допустимой концентрации для морских рыбохозяйственных водоемов. В целом содержание указанных тяжелых металлов в водах Ис-фьорда (Гренландское море) и его бухтах ниже, чем в водах Баренцева моря. Максимальный диапазон изменчивости содержания тяжелых металлов также наблюдается на акватории Баренцева моря. Наибольшая пространственная вариация концентраций характеризует распределение растворенных форм железа.

Ключевые слова:

Баренцево море, Гренландское море, фьорды Шпицбергена, атлантические воды, тяжелые металлы

Original article

RESULTS OF MEASUREMENT OF HEAVY METALS IN THE WATERS OF THE BARENTS AND GREENLAND SEAS

Daria A. Valuyskaia¹, Natalia S. Ivanova²

^{1,2}Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

¹valuyskaya@mmbi.info[✉], ²ivanova_ns@mmbi.info

Abstract

The results of observations of the content of dissolved forms of Fe, Mn, Cr are presented in the surface layer of sea water in the eastern part of the Barents Sea and in the area of the Greenland Sea near the Svalbard archipelago. The observations were made during the complex expeditions of the MMBI RAS in 2021 and 2022. The concentration of these microelements was measured by atomic absorption spectroscopy using a “KVANT.Z” spectrometer. Maps of the distribution of these elements of the study areas are presented, the average concentration of heavy metals did not exceed the maximum allowable concentrations for marine fishery water bodies in the waters of the studied areas. In general, the content of HMs in the waters of the Isfjord and its branches is lower than in the waters of the Barents Sea. The maximum range of heavy metals content variability is also observed in the Barents Sea. The largest spatial variation characterizes in concentrations the distribution of dissolved forms of Fe in the studied basins.

Keywords:

Barents Sea, Greenland Sea, fjords of Svalbard, Atlantic waters, heavy metals

Введение

Тяжелые металлы относятся к классу загрязняющих веществ, наблюдения за которыми очень важны для мониторинга среды водоемов с интенсивной хозяйственной деятельностью, особенно водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение (Перечень ..., 1999; СанПин ..., 2001; Ильин, 2004; Приказ ..., 2016). Баренцево и Гренландское моря, являясь рыбопромысловыми водоемами, подвергаются значительному антропогенному воздействию со стороны промышленных комплексов Северной Европы посредством трансграничного переноса атмосферными потоками и морскими течениями (Результаты ..., 2007; Ильин, Голубева, 2014). Локальными источниками тяжелых

металлов в бассейнах этих морей становятся буровые работы, изыскательские работы при разведке ископаемых промышленных ресурсов и добыче углеводородов (Ильин и др., 1993).

Для морского побережья Баренцева моря значимыми источниками загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, является береговая инфраструктура рыболовного и военного флота, речной и подземный сток, поставляющий загрязненные отходы добывающих и металлургических предприятий, отходы крупных городов и населенных пунктов побережья, продукты естественного выщелачивания горных пород. В поверхностном слое в зависимости от сезона можно наблюдать в открытом море плум вод материкового стока далеко за 20-мильной зоной.

В открытом море основное поступление тяжелых металлов в воду происходит с атмосферными выпадениями, с трансграничным переносом потоками Нордкапского течения из Северной Атлантики (Новиков, Драганов, 2017; Драганов, Новиков, 2020; Качество ..., 2021).

В бассейне Ис-фьорда источниками тяжелых металлов в морскую среду являются терриконы угольных шахт, материковый сток и атмосферные выпадения (Ильин, Голубева, 2014). В настоящее время из-за интенсивного таяния ледников Шпицбергена, вызванного потеплением в Арктике, возросла роль ледникового стока в поступлении тяжелых металлов в заливы Ис-фьорда и другие бухты побережья (Источники ..., 2019; Тяжелые ..., 2021).

Тяжелые металлы относятся к загрязняющим веществам, обладающим токсичным эффектом и способным накапливаться в живых организмах и передаваться по пищевым цепям. Многие металлы, связываясь с белковыми компонентами клеточных мембран, могут изменять проницаемость клеточной оболочки, способствуя нарушению таких физиологических функций как фотосинтез, дыхание и осморегуляция. Железо и марганец являются менее токсичными элементами, чем хром, однако они влияют на геохимическое поведение других тяжелых металлов.

Статус Баренцева и Гренландского морей как международных рыбопромысловых водоемов подчеркивает важность мониторинга поступлений и концентрации нормируемых тяжелых металлов в морской среде, изучение временной динамики, закономерностей и особенностей пространственного распределения этих микроэлементов не только в воде, но и в промысловых объектах, в том числе в объектах марикультуры (Биотестирование ..., 2003).

Цель нашего исследования – анализ современного уровня концентрации тяжелых металлов в некоторых районах Баренцева и Гренландского морей как отдельных пространственно удаленных элементах экосистем.

Материал и методы

Пробы морской воды для измерения концентрации тяжелых металлов взяты в экспедициях ММБИ РАН на НИС “Дальние Зеленцы”. Отбор проб на акватории Ис-фьорда и по разрезу вдоль меридиана 33°30’ (“Кольский меридиан”) выполнен в ноябре 2021 г., в восточной части Баренцева моря – в марте 2022 г. В общей сложности на 72 океанографических станциях было отобрано 72 пробы воды с поверхностного слоя с помощью пластикового батометра. Объем пробы составлял 1 л. В пробах анализировалось содержание растворенных форм соединений токсичных металлов – хрома и марганца, а также железа. Концентрация этих микроэлементов в воде рыбохозяйственных водоемов регулируется нормативными актами (Перечень ..., 1999; Приказ ..., 2016), в пробах воды она была определена методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием спектрометра “КВАНТ.Z”. Отбор и подготовка проб, а также процедура измерений выполнены в соответствии с РД 52.10.778-2013 (2014).

Результаты и обсуждение

На основе полученных данных были построены карты распределения тяжелых металлов в поверхностном слое морской воды (рисунки 1, 2). В Баренцевом море концентрация хрома варьировалась в пределах 0.5–8 мкг/дм³. Максимальные показатели зафиксированы в районах подводных желобов центральной части моря, по которым ориентированы ветви теплых течений. Повышение концентраций отмечено также на станциях в побережье Кольского полуострова, что связано с расположением потенциальных источников загрязнения и материковым стоком.

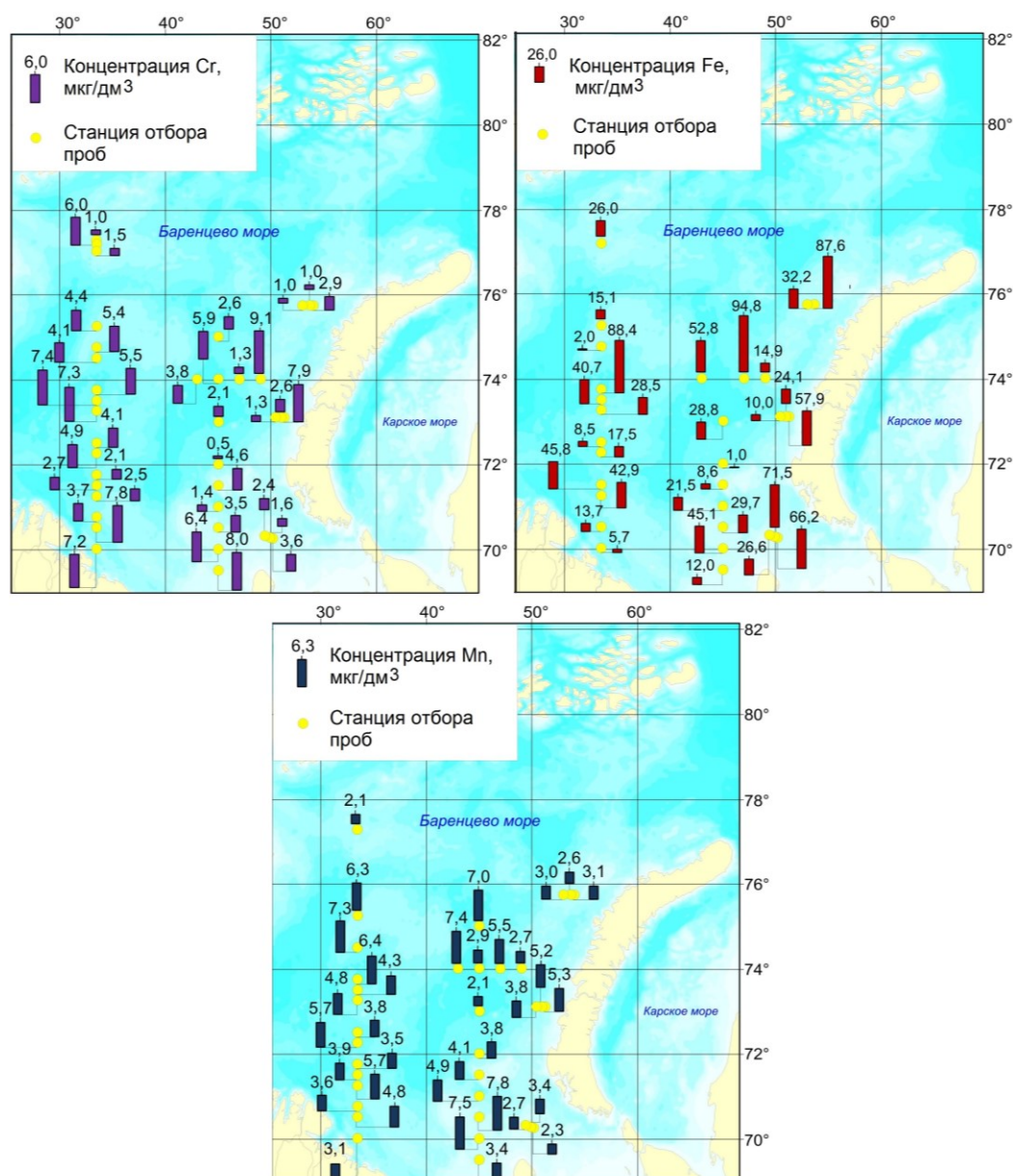


Рис. 1. Распределение хрома, железа и марганца в поверхностном слое воды Баренцева моря в ноябре 2021 г. и марте 2022 г.

Fig. 1. Distribution of Cr, Fe and Mn in the surface water layer of the Barents Sea, November 2021 and March 2022

Средняя концентрация железа в Баренцевом море составила 46,5 мкг/дм³. Однако в прибрежных районах Новой Земли и в целом в юго-восточной части моря отмечено повышенное содержание – до 110 мкг/дм³. Источник такого повышения не определен и нуждается в дополнительном исследовании. Наиболее вероятной причиной, на наш взгляд, могут быть локальные особенности динамики вод в зоне смешения водных масс.

Распределение марганца в поверхностном слое воды Баренцева моря было относительно равномерным по сравнению с другими микроэлементами. Его содержание варьировалось в пределах 2–7 мкг/дм³, что составило 0,14 ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

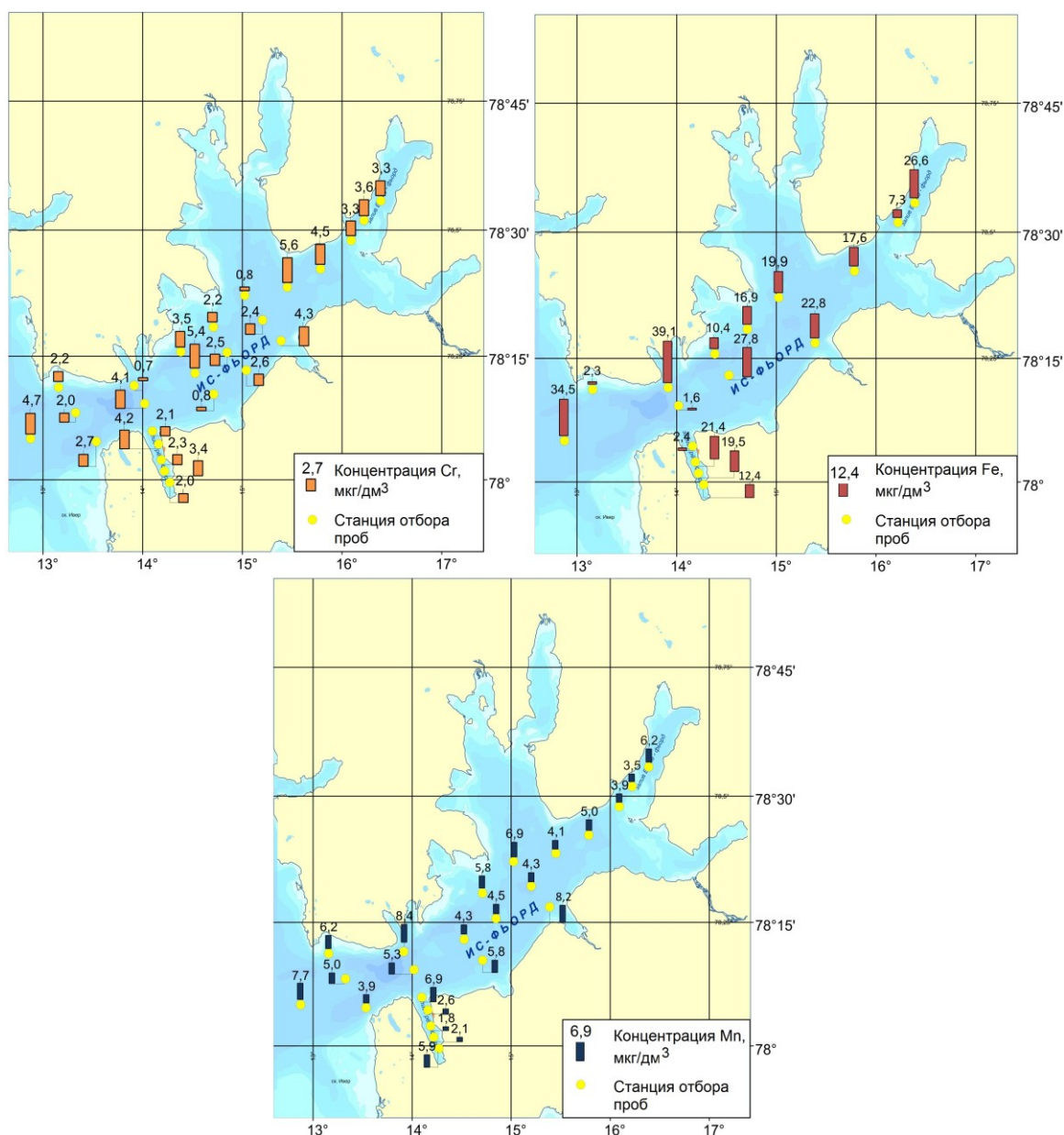


Рис. 2. Распределение хрома, железа и марганца в поверхностном слое морской воды Ис-фьорда в ноябре 2021 г.

Fig. 2. Distribution of Cr, Fe and Mn in the surface layer of sea water in Isfjord, November 2021

В целом исследования показали, что концентрации металлов в пробах воды Баренцева моря были сравнительно низкими и не превышали предельно допустимых концентраций (таблица).

В прибрежье архипелага Шпицберген, в системе залива Ис-фьорд, концентрация металлов в морской воде весьма разнообразна (таблица). В целом очевидна главная закономерность – превышение концентрации наблюдаемых микроэлементов в воде Ис-фьорда над таковыми в боковых ответвлениях. Это просматривается на примере Грён-фьорда. Так содержание железа в воде вдоль осевой линии Ис-фьорда изменялось в диапазоне от 1.5 до 40 мг/дм³. Значения почти в 2 раза выше по сравнению с заливами Билле-фьорд и Грён-фьорд (рис. 2). Возможно, это вызвано тем, что основная масса загрязняющих веществ поступает с водами Западно-Шпицбергенского течения.

**Концентрации тяжелых металлов в воде Баренцева и Гренландского морей
в ноябре 2021 г. и марте 2022 г., мкг/дм³
Concentrations of heavy metals in sea water
of the Barents and Greenland seas, November 2021 and March 2022, µg/dm³**

Район	Fe (ПДК = 50)	Mn (ПДК = 50)	Cr
Баренцево море	1–110 (46.4)	2.1–7.8 (4.5)	1–7.8 (4.0)
Гренландское море			
Ис-фьорд	1.6–39.1 (25.4)	4.3–8.4 (5.5)	0.8–5.4 (2.9)
Билле-фьорд	7.3–26.6 (17.0)	3.5–6.2 (4.9)	3.3–3.6 (3.5)
Грён-фьорд	2.4–21.4 (13.9)	1.8–6.9 (3.4)	2.0–4.2 (3.0)

ПРИМЕЧАНИЕ. Цифры в скобках – среднее значение.

Концентрация марганца на акватории Ис-фьорда составила от 1.5 до 8.5 мкг/дм³. При этом низкие концентрации отмечены в бухтах системы фьорда, более подверженных влиянию изменчивого материкового стока (таблица). Вероятно, ситуация с уровнем содержания данного микроэлемента в поверхностном слое вод фьорда характеризует естественный геохимический фон.

Содержание хрома в исследуемом районе варьировалось в пределах 0.8–5 мкг/дм³ (рис. 2). Можно предположить, что максимальное поступление тяжелых металлов из всех источников приходится в Ис-фьорд не с материковым и ледовым стоком. Основной причиной этого следует рассматривать перенос в залив северо-атлантических вод. Однако для получения полного представления о происходящих процессах необходимы дополнительные океанографические исследования.

Заключение

По результатам исследований на акватории Баренцева и Гренландского морей содержание тяжелых металлов не выходило за рамки установленных ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов за исключением единичных случаев. Более высокие концентрации железа, хрома и марганца отмечены в прибрежных районах морей рядом с потенциальными источниками загрязняющих веществ. В акватории удаленного от влияния промышленных и селитебных центров залива Ис-фьорд (Западный Шпицберген) формирование фона концентрации железа, хрома и марганца происходит главным образом под влиянием водообмена с открытой акваторией Гренландского моря и Северо-Шпицбергенского течения. Необходимо дальнейшее комплексное изучение для более полного представления о динамике тяжелых металлов в морской среде изучаемых водоемов.

Авторы выражают благодарность за плодотворную работу Е. В. Горшениной, И. С. Усягиной и Т. М. Максимовской, а также научной группе и экипажу НИС “Дальние Зеленцы”.

Работа выполнена по теме “Планктонные сообщества арктических морей в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия” (№ госрегистрации 121091600105-4) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Биотестирование и прогноз изменчивости водных экосистем при антропогенном загрязнении / Г. Г. Матишов, С. В. Кренева, В. М. Муравейко, И. А. Шпарковский, Г. В. Ильин. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 468 с.
2. Драганов Д. М., Новиков М. А. Атлас загрязнения водных масс Баренцева моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2020. 276 с.
3. Ильин Г. В. Современные концентрации тяжелых металлов в компонентах морской экосистемы как фоновый уровень мониторинга нефтегазовых разработок на шельфе Баренцева моря // Нефть и газ Арктического шельфа-2004: Матер. Междунар. конф., г. Мурманск, 17–19 ноября 2004 г. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2004. С. 121–131.
4. Ильин Г. В., Голубева Н. И. Антропогенные нагрузки и риски химического загрязнения морской среды в Арктике // Морские экосистемы и сообщества в условиях современных климатических изменений. СПб.: Реноме, 2014. С. 50–76.

5. Ильин Г. В., Петров В. С., Фролова Е. А. Комплексная оценка воздействия нефтегазоразведочных работ с плавучих буровых платформ на природную среду Баренцева моря // Арктические моря: биоиндикация состояния среды, биотестирование и технология деструкции загрязнителей. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1993. С. 136–152.
6. Источники природных и искусственных радионуклидов на архипелаге Шпицберген / И. С. Усягина, Г. В. Ильин, Н. И. Мещеряков, Д. А. Валуйская // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: Сб. статей по матер. Междунар. науч.-практ. конф. (23–26 сентября 2019 г.). Севастополь: Изд-во Сев. гос. ун-та, 2019. С. 1650–1654.
7. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2020 / Под ред. А. Н. Коршенко. М.: Наука, 2021. 230 с.
8. Новиков М. А., Драганов Д. М. Пространственное распределение водных масс Баренцева моря // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 5. С. 583–589.
9. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд-во ВНИРО, 1999. 352 с.
10. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552 “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения”. URL: https://www.chemanalytica.ru/f/prikaz_minselkhoza_rossii_ot_13122016_n_552_ob_utverzhenii_pdk.pdf
11. Результаты измерений тяжелых металлов в атмосферных аэрозолях в открытых районах арктических морей в 2009–2010 гг. / Н. И. Голубева, Л. В. Бурцева, Г. Г. Матишов, Г. В. Ильин // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Вып. 2. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 517–530.
12. СанПин 2.3.2.1078-01 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы “Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов”. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293855/4293855259.pdf>
13. РД 52.10.778-2013. Руководящий документ. Массовая концентрация растворенных форм железа, марганца и хрома в пробах морской воды // Методика измерений методом атомно-абсорбционной спектроскопии. М., 2014.
14. Тяжелые металлы в донных отложениях озера Фара, Западный Шпицберген / В. А. Даувальтер, Н. И. Мещеряков, И. С. Усягина, Г. Н. Духно, В. В. Шарин, З. И. Слуковский, Д. Б. Денисов // Тр. Ферсмановской науч. сессии Геол. ин-та КНЦ РАН. 2021. Т. 18. С. 145–149.

References

1. Matishov G. G., Kreneva S. V., Muravejko V. M., Shparkovskij I. A., Il'in G. V. *Biotestirovanie i prognoz izmenchivosti vodnyh ekosistem pri antropogennom zagryaznenii* [Biotesting and prediction of the aquatic ecosystems variability at the anthropogenic contamination]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2003, 468 p. (In Russ.).
2. Draganov D. M., Novikov M. A. *Atlas zagryazneniya vodnyh mass Barentseva morya* [Atlas of the Barents Sea waters pollution]. Murmansk, Publ. PINRO, 2020, 276 p. (In Russ.).
3. Il'in G. V. *Sovremennye koncentracii tyazhelykh metallov v komponentakh morskoy ekosistemy kak fonovyj uroven' monitoringa neftegazovykh razrabotok na shel'fe Barentseva morya* [Modern concentrations of heavy metals in the components of the marine ecosystem as a background level for monitoring oil and gas developments on the shelf of the Barents Sea]. *Neft' i gaz Arkticheskogo shel'fa-2004: Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, g. Murmansk, 17–19 noyabrya 2004 g.* [Oil and Gas of the Arctic Shelf-2004: Materials of the International Conference, Murmansk, November 17–19, 2004]. Murmansk, Publ. MMBI KSC RAS, 2004, pp. 121–131. (In Russ.).
4. Ilyin G. V., Golubeva N. I. *Antropogennyye nagruzki i riski himicheskogo zagryazneniya morskoy sredy v Arktike* [Anthropogenic loads and risks of chemical pollution of the marine environment in the Arctic]. *Morskie ekosistemy i soobshchestva v usloviyakh sovremennykh klimaticheskikh izmenenij* [Marine ecosystems and communities under modern climate change]. Saint-Petersburg, Renome, 2014, pp. 50–76. (In Russ.).
5. Ilyin G. V., Petrov V. S., Frolova E. A. *Kompleksnaya ocenka vozdeystviya neftegazorazvedochnykh rabot s plavuchih burovyykh platform na prirodnyuyu sredyu Barentseva morya* [Comprehensive assessment of the impact of oil and gas exploration from floating drilling platforms on the natural environment of the Barents Sea]. *Arkticheskie моря: bioindikaciya sostoyaniya sredy, biotestirovanie i tekhnologiya destrukcii zagryaznitelej* [Arctic seas: bioindication of the state of the environment, biotesting and technology for the destruction of pollutants]. Apatity, Publ. KSC RAS, 1993, pp. 136–152. (In Russ.).

6. Usyagina I. S., Ilyin G. V., Meshcheryakov N. I., Valuyskaya D. A. Valujskaya Istochniki prirodnyh i iskusstvennyh radionuklidov na arhipelage Shpicbergen [Sources of natural and artificial radionuclides in the Svalbard archipelago]. *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' – 2019: Sbornik statej po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (23–26 sentyabrya 2019 g.)* [Ecological, industrial and energy security – 2019: Collection of articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference (September 23–26, 2019)]. Sevastopol, Publ. Sevastopol State University, 2019, pp. 1650–1654. (In Russ.).
7. *Kachestvo morskikh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam. Ezhegodnik 2020* [The quality of sea waters by hydrochemical indicators. Yearbook 2020]. Moscow, Nauka, 2021, 230 p. (In Russ.).
8. Novikov M. A., Draganov D. M. Prostranstvennoe raspredelenie vodnyh mass Barenceva moray [Spatial Distribution of Water Mass Pollution Characteristics in the Barents Sea]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2017, Vol. 44, No. 5, pp. 583–589. (In Russ.).
9. *Perechen' rybohozyajstvennykh normativov: predel'no dopustimyykh koncentracij (PDK) i orientirovochno bezopasnykh urovnej vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vodnykh ob'ektov, imeyushchih rybohozyajstvennoe znachenie* [List of fishery standards: maximum allowable concentrations (MAC) and approximate safe exposure levels (SLI) of harmful substances for water bodies of fishery importance]. Moscow, Publ. VNIRO, 1999, 352 p. (In Russ.).
10. Prikaz Minsel'hoza Rossii ot 13.12.2016 g. № 552 “Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybohozyajstvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh koncentracij vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybohozyajstvennogo znacheniya” [Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016 No. 552 “On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance”]. Available at: https://www.chemanalytica.ru/f/prikaz_minselkhoza_rossii_ot_13122016_n_552_ob_utverzhdenii_pdk.pdf (In Russ.).
11. Golubeva N. I., Burtseva L. V., Matishov G. G., Ilyin G. V. Rezul'taty izmereniy tyazhelykh metallov v atmosferynykh aerolyah v otkrytykh rajonakh arkticheskikh morej v 2009–2010 gg. [Results of measurements of heavy metals in atmospheric aerosols in open areas of the Arctic seas in 2009–2010]. *Kompleksnye issledovaniya processov, harakteristik i resursov rossijskikh morej Severo-Evropejskogo bassejna. Vypusk 2* [Integrated studies of processes, characteristics and resources of the Russian seas of the North European basin. Issue 2]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2007, pp. 517–530. (In Russ.).
12. SanPin 2.3.2.1078-01 Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy “Gigienicheskie trebovaniya k bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevykh produktov” [SanPin 2.3.2.1078-01 Sanitary requirements to safety and nutritive value of food products]. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293855/4293855259.pdf> (In Russ.).
13. RD 52.10.778-2013. Rukovodnyashchij dokument. Massovaya koncentraciya rastvorenykh form zheleza, marganca i hroma v probah morskoy vody [RD 52.10.778-2013. Guidance document. Mass concentration of dissolved forms of iron, manganese and chromium in samples of sea water]. Metodika izmerenij metodom atomno-absorbcionnoj spektrometrii [Method of measurement by atomic absorption spectrometry]. Moscow, 2014. (In Russ.).
14. Dauwalter V. A., Meshcheryakov N. I., Usyagina I. S., Duhno G. N., Sharin V. V., Slukovsky Z. I., Denisov D. B. Tyazhelye metally v donnykh otlozheniyah ozera Fara, Zapadnyj Shpicbergen [Heavy metals in the bottom sediments of Lake Fara, Western Svalbard]. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoj sessii Geologicheskogo instituta Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Proceedings of the Fersman scientific session GI KSC RAS]. 2021, Vol. 18, pp. 145–149. (In Russ.).

Информация об авторе

Дарья Андреевна Валу́йская – научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-0633-5229>

Наталья Сергеевна Иванова – стажер-исследователь

Information about the author

Daria A. Valuiskaia – Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-0633-5229>

Natalia S. Ivanova – Trainee Researcher

Статья поступила в редакцию 30.04.2023; одобрена после рецензирования 03.05.2023; принята к публикации 07.05.2023.
The article was submitted 30.04.2023; approved after reviewing 03.05.2023; accepted for publication 07.05.2023.