

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ МЕТАЛЛОВ В ОЗЕРЕ БИЕНДА-СТЕММЕ (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Г. Т. Фрумин

Российский государственный педагогический университет имени
А. И. Герцена (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

А. С. Демешкин

Северо-Западный филиал НПО «Тайфун» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

У. М. Маликов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени
профессора М. А. Бонч-Бруевича (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 12 сентября 2021 г.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствовать комплексный экологический мониторинг для выполнения Российской Федерацией международных обязательств по мониторингу тяжелых металлов в Арктике. Статья посвящена расчетам экологически допустимых уровней (ЭДУ) семи металлов в воде озера Биенда-Стемме (железа, марганца, никеля, свинца, кадмия, цинка, меди). Выявлено статистически значимое соотношение между величинами ЭДУ и кларками металлов в земной коре.

Ключевые слова: металлы, экологическое нормирование, экологически допустимые уровни, кларки.

Введение

В связи с выполнением Российской Федерацией международных обязательств по мониторингу тяжелых металлов в Арктике требуется совершенствование комплексного экологического мониторинга. В 1991 г. на конференции министров приарктических стран (Рованиemi, Финляндия) была утверждена «Стратегия защиты окружающей среды Арктики» (АЕПС), состоявшая из пяти отдельных программ, включая «Программу мониторинга и оценки окружающей среды Арктики» (АМАР — Arctic Monitoring and Assessment Programme).

Известно, что разные биогеохимические провинции и отдельные водоемы отличаются друг от дру-

га по содержанию в поверхностных водах свинца в 2000 раз, никеля — в 1350 раз, цинка — в 500 раз, меди — в 10 000 раз, хрома — в 17 000 раз [1].

Одним из существенных недостатков системы предельно допустимых концентраций (ПДК) является то, что эти величины принимают в виде единых нормативов для огромных административных территорий, в то время как действие факторов зависит от специфических фоновых, климатических, хозяйственных и многих других характеристик конкретно-го региона [2].

В связи с изложенным альтернативным нормативам ПДК вариантом нормирования может быть установление экологически допустимых уровней (ЭДУ) абиотических факторов, учитывающих региональные особенности водного объекта.

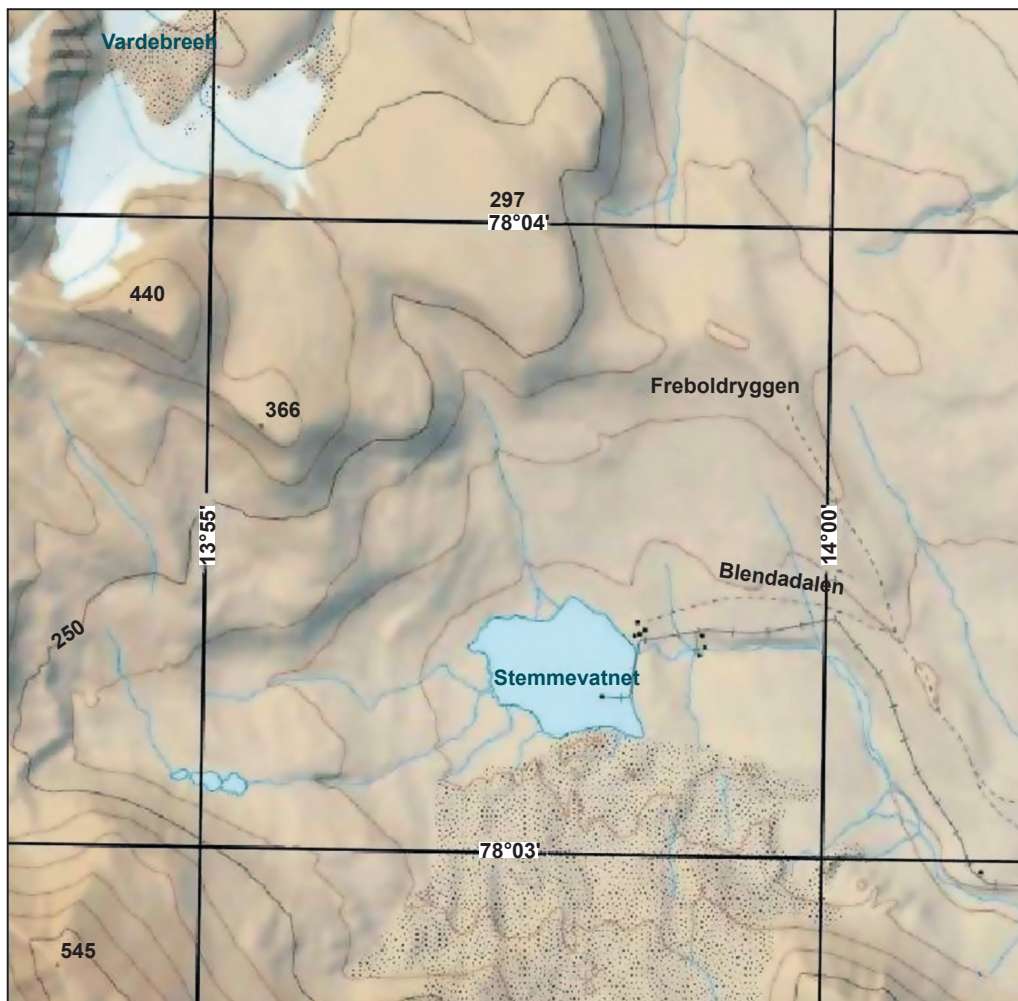


Рис. 1. Карта-схема озера Биенда-Стемме
Fig 1. Schematic map of Lake Bienda-Stemme

Таблица 1. Морфометрические характеристики озера Биенда-Стемме

| Характеристика | Величина |
|-----------------------------------------|----------|
| Площадь зеркала озера, км ² | 0,013 |
| Площадь водосбора, км ² | 5,2 |
| Максимальный объем, тыс. м ³ | 516 |
| Длина озера, м | 595 |
| Максимальная глубина, м | 12,8 |
| Средняя глубина, м | 3,2 |

В связи с высокой биологической активностью (токсичностью) особый интерес для служб контроля представляют металлы, в первую очередь тяжелые [3].

Цель исследования заключалась в оценке экологически допустимых уровней металлов в озере Биенда-Стемме. Оно расположено на западном

берегу залива Гренфьорд (архипелаг Шпицберген) в межгорной котловине, вследствие чего питание озера осуществляется за счет притока вод ледника Вардеборг, расположенного севернее озера, и вод ледника Вёринг, морена которого подпирает южный берег озера.

В монографии [4] приведен перечень точек фоновое экологического мониторинга, две из которых расположены в районе озера Биенда-Стемме.

Для жителей поселка Баренцбург озеро Биенда-Стемме (рис. 1) является источником воды питьевого и хозяйственного назначения. Координаты: 78°3'18" с. ш. 13°57'55" в. д. Морфометрические характеристики озера приведены в табл. 1 [4]. Особенности этого региона являются его малонаселенность и незначительная промышленная активность.

Поскольку озеро Биенда-Стемме расположено на архипелаге Шпицберген, его исследование связано с выполнением Россией международных обязательств.

Метод ЭДУ нашел широкое применение при нормировании гидрохимических показателей бассей-

Таблица 2. Средние фоновые концентрации за 2002—2020 гг., рыбохозяйственные предельно допустимые концентрации, экологически допустимые уровни металлов в озере Биенда-Стемме и их кларки

| Металл | Средняя фоновая концентрация C_{CP} , мкг/дм ³ | Стандартное отклонение σ , мкг/дм ³ | ПДК _{РХ} , мкг/дм ³ | ЭДУ, мкг/дм ³ | Кларк, мг/кг |
|--------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Fe | 14,3 (1,3—72) | 14,2 | 100 | 55,3 | 53300 |
| Mn | 1,2 (0,3—3,6) | 0,98 | 10 | 3,9 | 900 |
| Zn | 3,5 (0,25—13) | 3,8 | 10 | 15,1 | 68 |
| Cu | 0,93 (0,25—4,0) | 0,97 | 1 | 2,7 | 53 |
| Ni | 2,4 (0,5—12) | 2,2 | 10 | 5,8 | 70 |
| Pb | 0,91 (0,05—3,2) | 0,67 | 6 | 2,8 | 13 |
| Cd | 0,09 (0,04—0,5) | 0,10 | 1 | 0,1 | 0,17 |

Примечание. В скобках приведены минимальные и максимальные концентрации.

нов рек Азова, Дуная, Днестра, Днепра, Сырдарьи, Волги [5], Дона [6], Вологодской области [7], основных рек Санкт-Петербурга [8], Ладожского озера, Онежского озера, озера Ильмень, водных объектов озера Лахтинский Разлив [9], для водоемов реки Элисты [10].

Методы исследования

Одной из основных нагрузок, оказывающих влияние на природу архипелага Шпицберген, является добыча угля и связанная с ней инфраструктура жилых поселков. В последние годы увеличивается нагрузка на экосистему и за счет туристической индустрии, соответственно возрастает количество авто- и мототранспорта, увеличивается число заходов судов в заливы, строится новая инфраструктура.

Предыдущие исследования показали, что экосистема озера находится в стабильном состоянии и за время исследований не подвергалась существенным изменениям. В частности, комплексная эколого-токсикологическая оценка качества воды озера Биенда-Стемме в весенний период (апрель-май) 2003—2019 гг. показала отсутствие тренда качества воды [11].

Пробы воды отбирались в зимне-весенний (время наибольшего снегонакопления) и летне-осенний (июль-сентябрь) периоды с подповерхностного (0,5 м ниже поверхности) и придонного (0,5 м выше дна) горизонтов. Исследования выполнялись в 2002—2020 гг.

Отбор проб воды производился Северо-Западным филиалом (СЗФ) ФГБУ НПО «Тайфун» с использованием батометров фирмы «HydroBios» (Германия) емкостью 5 и 10 л. Было отобрано 38 проб. Подготовка проб выполнялась в соответствии с требованиями документа РД 52.04.186-89. Содержание тяжелых металлов определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием спек-

трофотометра «Квант-З.ЭТА» с электротермической атомизацией и зеемановским корректором фона.

Фоновые концентрации металлов в пробах воды определялись аккредитованной химико-аналитической службой СЗФ ФГБУ НПО «Тайфун». Уникальный номер записи об аккредитации — РОСС RU.0001.510523. В каждой пробе воды были определены концентрации семи металлов (железа, марганца, цинка, меди, никеля, свинца и кадмия).

Известны два подхода к оценке экологически допустимых уровней загрязняющих веществ в водных объектах: метод С. А. Патина [12] и метод Д. Г. Замолодчикова [5]. Метод С. А. Патина пригоден для установления верхних биогеохимических порогов экологической толерантности для тяжелых металлов в морской фауне.

Для расчетов ЭДУ металлов был использован подход Д. Г. Замолодчикова [5], согласно которому современные статистические методы предоставляют возможность при достаточно большом наборе данных определить значения, выпадающие из данного распределения. Верхнюю границу выпадающих значений, рассматриваемую как экологически допустимый уровень, можно найти по формуле

$$\text{ЭДУ} = \text{ВК} + 1,5(\text{ВК} - \text{НК}), \quad (1)$$

где ВК — верхняя квартиль распределения; НК — нижняя квартиль распределения.

Отличительной чертой подхода Д. Г. Замолодчикова к установлению допустимых нагрузок на экосистемы является то, что анализу подвергается воздействие антропогенных факторов на реальные экосистемы. Отметим, что принятая в России система контроля и регламентирования качества водной среды рыбохозяйственных водоемов основана на установлении ПДК загрязняющих веществ в воде путем выполнения по определенной схеме лабора-

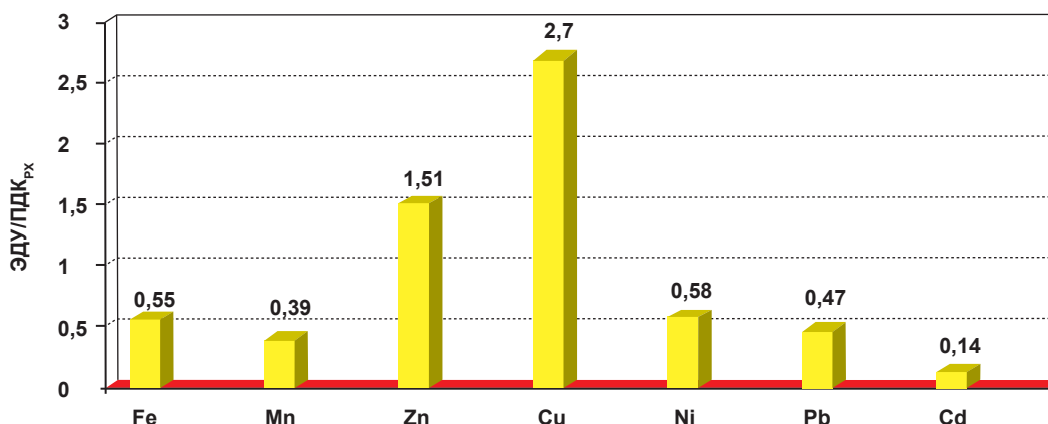


Рис. 2. Отношение экологически допустимых уровней к предельно допустимым концентрациям
 Fig. 2. The ratio of environmentally permissible levels to maximum permissible concentrations

торных экспериментов с гидробионтами — представителями разных уровней и звеньев водной экосистемы, т. е. без учета региональных особенностей.

Как отмечено выше, экосистема озера находится в стабильном состоянии, что позволяет рассчитывать величины ЭДУ.

Для математико-статистической обработки данных был использован процессор Excel.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе по данным мониторинга для каждого металла были рассчитаны средние фоновые концентрации С_{СР} за 2002—2020 гг. Рассчитанные значения С_{СР} были сопоставлены с предельно допустимыми концентрациями для рыбохозяйственных водных объектов ПДК_{рх} [13], величинами ЭДУ и кларками в земной коре (табл. 2). Кларки химических элементов в земной коре заимствованы из [14].

Как следует из табл. 2, средние фоновые концентрации металлов в озере ниже предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственных водных объектов.

На втором этапе были рассчитаны величины ЭДУ. Приведенные величины ЭДУ железа, марганца, никеля, свинца и кадмия меньше величин ПДК_{рх}. Величина ЭДУ меди и цинка больше ПДК_{рх}, что, возможно, обусловлено региональными особенностями (рис. 2). По данным многолетних наблюдений установлено, что концентрации цинка в снежном покрове (7,02 мкг/л) рассматриваемой территории выше, чем концентрации других металлов, кроме железа (8,78 мкг/л).

Поскольку величины ПДК_{рх} и ЭДУ в разной степени характеризуют загрязненность воды озера, представлялось целесообразным комплексно оценить это различие. Были рассчитаны суммы отношений средних концентраций С_{СР} к ПДК_{рх} $\Sigma(C_{CP}/ПДК_{рх})$ и суммы отношений средних концентраций С_{СР} к ЭДУ $\Sigma(C_{CP}/ЭДУ)$. Установлено, что $\Sigma(C_{CP}/ПДК_{рх}) = 2,0$ и $\Sigma(C_{CP}/ЭДУ) = 2,5$. Это означает, что уровень загрязненности озера металлами при использовании

ЭДУ больше, чем при применении ПДК_{рх}. Поскольку средние концентрации металлов в озере довольно низкие (см. табл. 2) и антропогенная нагрузка на озеро незначительна, использование ЭДУ лучше отражает загрязненность озера, чем использование ПДК_{рх}. Кроме того, величины ЭДУ в отличие от величин ПДК_{рх} учитывают региональные особенности.

На третьем этапе было выявлено статистически значимое соотношение между натуральными логарифмами средних фоновых концентраций металлов С_{СР} и натуральными логарифмами их кларков:

$$\ln C_{CP} = -1,25 + 0,36 \ln(\text{кларк}), \quad (2)$$

$$n = 7, r = 0,90, r^2 = 0,81, \sigma_{Y(x)} = 0,74, F_p = 21,3,$$

$$F_T = 5,59,$$

где n — количество металлов; r — коэффициент корреляции; r^2 — коэффициент детерминации; $\sigma_{Y(x)}$ — стандартная ошибка; F_p — расчетное значение критерия Фишера; F_T — табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 95%.

Согласно основным положениям биогеохимии и геохимической экологии, организмы и биоценозы эволюционно адаптировались к химическим факторам среды [12]. В этой связи можно принять, что существующие в настоящее время средние концентрации металлов в водном объекте оптимальны для его биоты, а крайние пределы отражают соответственно критические уровни недостаточного (если элемент нужен для жизнедеятельности) или избыточного (если элемент токсичен) содержания металла в воде. Последний уровень — естественная, эволюционно обусловленная граница зоны максимально допустимого содержания металла для всего озера [9].

Косвенным показателем адаптации может являться отсутствие статистически значимых трендов в концентрациях исследованных металлов за 2002—2020 гг., что иллюстрируют рис. 3 (на примере железа) и 4 (на примере меди).

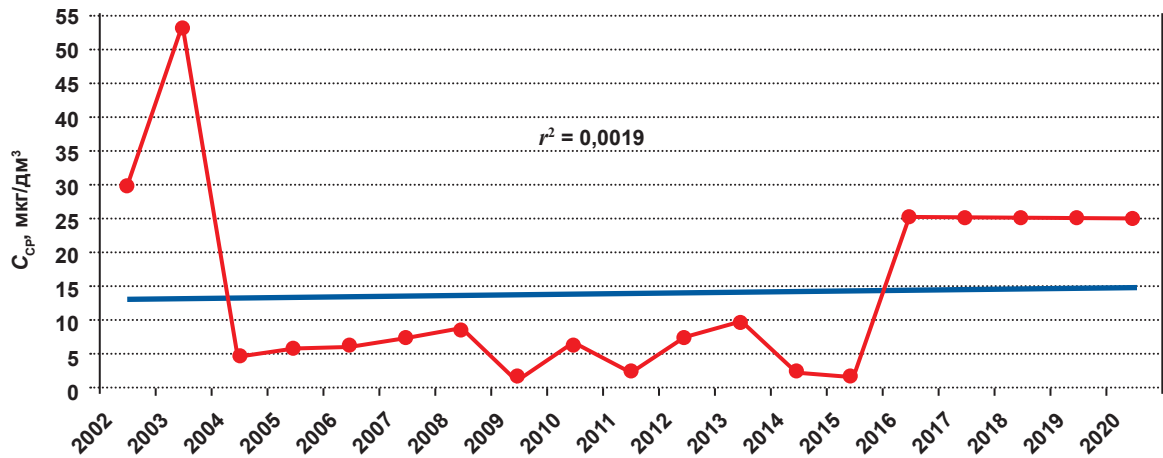


Рис. 3. Динамика концентраций железа в озере Биенда-Стемме (прямая линия – линия тренда)
 Fig. 3. Dynamics of iron concentrations in Lake Bienda-Stemme (straight line – trend line)

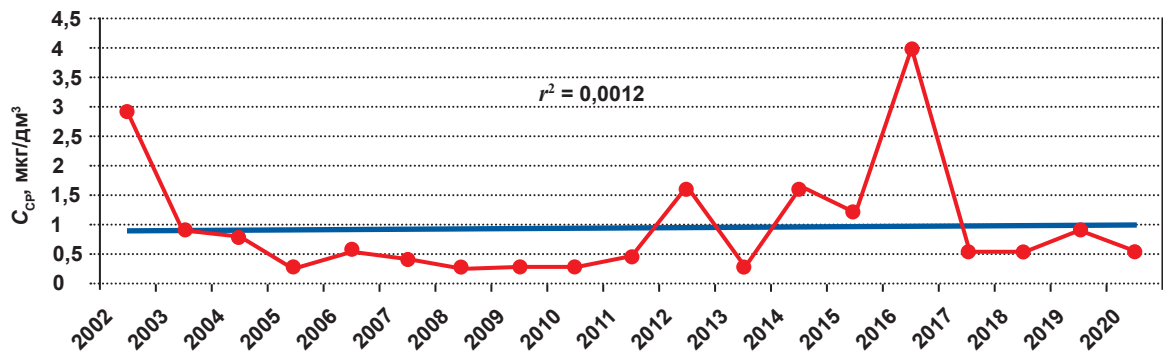


Рис. 4. Динамика концентраций меди в озере Биенда-Стемме (прямая линия – линия тренда)
 Fig. 4. Dynamics of copper concentrations in Lake Bienda-Stemme (straight line – trend line)

Дополнительно к изложенному была выявлена статистически значимая зависимость между ЭДУ и кларками металлов в земной коре (рис. 5).

Прямая линия, приведенная на рис. 5, описывается следующим уравнением линейной регрессии:

$$\ln(\text{ЭДУ}) = -0,47 + 0,43 \ln(\text{кларк}), \quad (3)$$

$n = 7, r = 0,90, r^2 = 0,80, \sigma_{Y(x)} = 0,90, F_p = 20,2, F_T = 5,59.$

В соответствии со шкалой Чеддока [15] аналитическая зависимость между величинами ЭДУ и кларками характеризуется высокой теснотой связи между переменными (коэффициент корреляции 0,90). Выявленная аналитическая зависимость адекватна ($F_p > F_T$).

На основе уравнений (2) и (3) был выполнен прогнозный расчет $C_{ср}$ и ЭДУ для кобальта. Кларк кобальта в земной коре — 23 мг/кг. Подставляя эту величину в (2), получим $C_{ср} = 0,80$ мкг/дм³, фактическая средняя многолетняя концентрация кобальта в озере — 1,05 мкг/дм³. Расхождение между фак-

тической и прогнозируемой величинами — 23,8%. Прогнозная величина ЭДУ для кобальта составляет 2,2 мг/кг, а рассчитанная по методу Д. Г. Замолотчикова — 2,4 мг/кг. Расхождение равно 8,3%.

Выводы

1. Для корректной оценки качества воды озера Биенда-Стемме необходимо учитывать его региональные особенности, что может быть реализовано на основе расчетов экологически допустимых уровней индивидуальных ингредиентов химического состава воды.

2. Установленная статистически значимая (адекватная) зависимость между величинами экологически допустимых уровней (ЭДУ) металлов в озере Биенда-Стемме и их кларками может быть применена для ориентировочного прогнозирования величин ЭДУ для других металлов.

Исследование выполнено по государственному заданию на тему «Теоретико-методологическое

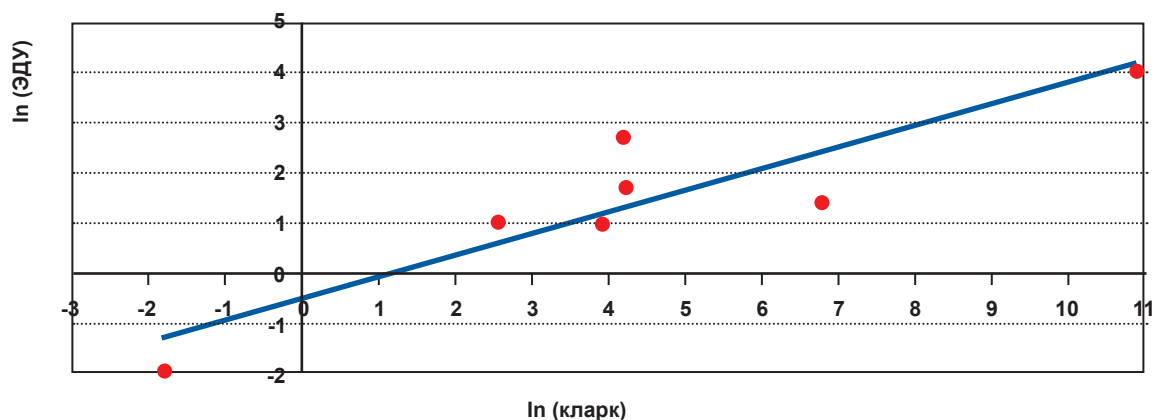


Рис. 5. Соотношение между натуральными логарифмами величин ЭДУ и натуральными логарифмами кларков
 Fig. 5. Relationship between natural logarithms of EDF values and natural logarithms of clarkes

обоснование, математический аппарат и модели интегральной оценки экологического статуса и экологического благополучия водных объектов» при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 19-05-00683а.

Литература/References

1. Волков И. В., Заличева И. Н., Ганина В. С. О принципах регламентирования антропогенной нагрузки на водные экосистемы // Вод. ресурсы. — 1993. — Т. 20. — С. 707—713.
 Volkov I. V., Zalicheva I. N., Ganina V. S. On the principles of regulation of anthropogenic load on aquatic ecosystems. *Vod. resursy*, 1993, vol. 20, pp. 707—713. (In Russian).

2. Левич А. П., Булгаков Н. Г., Рисник Д. В., Милько Е. С. Экологический контроль окружающей среды по данным биологического и физико-химического мониторинга природных объектов // Компьютер. исслед. и моделирование. — 2010. — № 2. — С. 199—207.
 Levich A. P., Bulgakov N. G., Risnik D. V., Milko E. S. Ecological control of the environment according to the data of biological and physicochemical monitoring of natural objects. *Komp'yuter. issled. i modelirovanie*, 2010, no. 2, pp. 199—207. (In Russian).

3. Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. — СПб.: Наука, 2004. — 294 с.
 Dmitriev V. V., Frumin G. T. Environmental regulation and sustainability of natural systems. St. Petersburg, Nauka, 2004, 294 p. (In Russian).

4. Дёмин Ю. Н., Граевский А. П., Демешкин А. С. и др. Состояние и тенденции изменения загрязнения окружающей среды в местах хозяйственной деятельности предприятий на архипелаге Шпицберген (поселок Баренцбург и сопредельные территории) за период 2002—2010 гг. — СПб.: ААНИИ, 2011. — 316 с.
 Demin Yu. N., Graevsky A. P., Demeshkin A. S., Vlasov S. V., Krylov S. S., Laletin N. A. The state and trends of chang-

es in environmental pollution in the places of economic activity of enterprises on the Spitsbergen archipelago (the village of Barentsburg and adjacent territories) for the period 2002—2010. St. Petersburg, ААНИИ, 2011, 316 p. (In Russian).

5. Замолодчиков Д. Г. Оценка экологически допустимых уровней антропогенного воздействия на пресноводные экосистемы // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — Т. 15. — СПб.: Гидрометеиздат, 1993. — С. 214—233.
 Zamolodchikov D. G. Assessment of ecologically acceptable levels of anthropogenic impact on freshwater ecosystems. *Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*. Vol. 15. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 1993, pp. 214—233. (In Russian).

6. Забурдаева Е. А. Градуировка индексов разнообразия и поиск экологически допустимых уровней абиотических факторов (на примере водных объектов р. Дон) // Компьютер. исслед. и моделирование. — 2009. — Т. 1, № 2. — С. 199—207.
 Zaburdaeva E. A. Graduation of diversity indices and the search for ecologically acceptable levels of abiotic factors (on the example of water bodies of the Don River). *Komp'yuter. issled. i modelirovanie*, 2009, vol. 1, no. 2, pp. 199—207. (In Russian).

7. Тимошенко Л. Н. Экологически допустимые уровни содержания химических веществ в водных объектах Вологодской области // Ученые зап. РГГМУ. — 2014. — № 33. — С. 119—125.
 Timoshenko L. N. Environmentally acceptable levels of chemical substances in water bodies of the Vologda region. *Uchenyye zap. RGGMU*, 2014, no. 33, pp. 119—125. (In Russian).

8. Фрумин Г. Т. Экологически допустимые концентрации металлов в реках Санкт-Петербурга // Экол. химия. — 2020. — № 29 (4). — С. 175—178.
 Frumin G. T. Environmentally permissible concentrations of metals in the rivers of St. Petersburg. *Ekol. khimiya*, 2020, no. 29 (4), pp. 175—178. (In Russian).

9. Фрумин Г. Т. Экологически допустимые уровни воздействия металлами на водные экосистемы // Биология внутр. вод. — 2015. — № 24 (2). — С. 105—110. Frumin G. T. Environmentally permissible levels of metal impact on aquatic ecosystems. *Biologiya vnutr. vod*, 2015, no. 24 (2), pp. 105—110. (In Russian).
10. Максимов В. Н., Джабруева Л. В., Булгаков Н. Г., Терехин А. Т. Концепция выявления стрессовых состояний водных экосистем методом ранговых распределений и экологически допустимые уровни загрязняющих веществ для водоемов р. Элисты // Вод. ресурсы. — 1997. — Т. 24, № 1. — С. 79—85. Maksimov V. N., Dzhabrueva L. V., Bulgakov N. G., Terexhin A. T. The concept of identifying stress states of aquatic ecosystems by the method of rank distributions and ecologically permissible levels of pollutants for water bodies of the river Elista. *Vod. resursy*, 1997, vol. 24, no. 1, pp. 79—85. (In Russian).
11. Фрумин Г. Т., Демешкин А. С. Эколого-токсикологическая оценка качества воды озера Биенда-Стемме (Западный Шпицберген) // Экол. химия. — 2020. — № 29 (4). — С. 175—178. Frumin G. T., Demeshkin A. S. Ecological and toxicological assessment of water quality in Lake Bienda-Stemme (Western Spitsbergen). *Ekol. khimiya*, 2020, no. 29 (4), pp. 175—178. (In Russian).
12. Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. — М.: Пищевая пром-сть, 1979. — 304 с. Patin S. A. Impact of pollution on biological resources and productivity of the World Ocean. Moscow, Food industry, 1979, 304 p. (In Russian).
13. Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. — М.: ВНИРО, 1999. — 304 с. The list of fishery standards, maximum permissible concentrations (MPC) and tentatively safe exposure levels (TSEL) of harmful substances for the water of water bodies of fishery importance. Moscow, VNIRO, 1999, 304 p. (In Russian).
14. Овчинников Л. Н. Прикладная геохимия. — М.: Недра, 1990. — 248 с. Ovchinnikov L. N. Applied Geochemistry. Moscow, Nedra, 1990, 248 p. (In Russian).
15. Макарова Н. В., Трофимец В. Я. Статистика в Excel. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 252 с. Makarova N. V., Trofimets V. Ya. Statistics in Excel. Moscow, Finance and statistics, 2002, 252 p. (In Russian).

Информация об авторах

Фрумин Григорий Тевелевич, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория факультета географии, Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена (191186, Россия, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48), e-mail: gfrumin@mail.ru.

Демешкин Андрей Сергеевич, кандидат географических наук, директор, Северо-Западный филиал НПО «Тайфун» (199397, Россия, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38), e-mail: typhoon.ecol@mail.ru.

Маликов Умар Маннонович, кандидат биологических наук, доцент, кафедра экологической безопасности телекоммуникаций, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М. А. Бонч-Бруевича (193232, Россия, Санкт-Петербург, просп. Большевиков, 22, корп. 1), e-mail: umalik@mail.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Фрумин Г. Т., Демешкин А. С., Маликов У. М. Экологически допустимые уровни металлов в озере Биенда-Стемме (Западный Шпицберген) // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 2. — С. 183—190. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-183-190.

ENVIRONMENTALLY PERMISSIBLE LEVELS OF METALS IN THE LAKE BIENDA-STEMME (WEST SPITSBERGEN)

Frumin, G. T.

The Herzen State Pedagogical University of Russia (St. Petersburg, Russian Federation)

Demeshkin, A. S.

North-Western Branch of NPO Typhoon (St. Petersburg, Russian Federation)

Malikov, U. M.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications (St. Petersburg, Russian Federation)

The article was received on September 12, 2021

Abstract

The relevance of the study is due to the need to improve integrated environmental monitoring for the Russian Federation in fulfilling its international obligations to monitor heavy metals in the Arctic. The article considers the calculations of environmentally permissible levels of metals in Lake Bienda-Stemme. The authors present the calculation results of environmentally permissible levels (EAL) of seven metals in the water of Lake Bienda-Stemme (iron, manganese, nickel, lead, cadmium, zinc, copper). They reveal a statistically significant relationship between the EAL values and metal clarkes in the earth's crust.

Keywords: *Lake Bienda-Stemme, metals, ecological regulation, environmentally permissible levels, clarkes.*

The study was carried out under the state assignment on the topic «Theoretical and methodological substantiation, mathematical tool and models for the integrated assessment of the ecological status and well-being of water bodies», supported by the Russian Foundation for Basic Research within the framework of project No. 19-05-00683a.

Information about the authors

Frumin, Grigory Tevelevich, Doctor of Chemistry, Professor, Leading Researcher, The Herzen State Pedagogical University of Russia (48, Nab. R. Moiki, St. Petersburg, Russia, 191186), e-mail: gfrumin@mail.ru.

Demeshkin, Andrey Sergeevich, PhD of Geography, Director of the North-West Branch of NPO Typhoon (38, Bering st., St. Petersburg, Russia, 199397), e-mail: typhoon.ecol@mail.ru.

Malikov, Umar Mannonovich, PhD of Biological Science, Associate Professor, The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications (bldg. 1, 22, Bolshhevikov Ave., St. Petersburg, Russia, 193232), e-mail: umalik@mail.ru.

Bibliographic description of the article

Frumin, G. T., Demeshkin, A. S., Malikov, U. M. Environmentally permissible levels of metals in the Lake Bienda-Stemme (West Spitsbergen). *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2022, vol. 12, no. 2, pp. 183—190. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-183-190. (In Russian).

© Frumin G. T., Demeshkin A. S., Malikov U. M., 2022