

УДК 627.157:002.637(282.247.41)

**ОЦЕНКА УРОВНЯ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ***Г.Н. Иванов, И.В. Кривенко, М.А. Смирнова, С.Р. Испирян  
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*© Иванов Г.Н., Кривенко И.В.,  
Смирнова М.А., Испирян С.Р., 2022

**Аннотация.** Отмечено, что одним из важнейших показателей эффективной и надежной оценки экологического состояния водного объекта является содержание тяжелых металлов в его донных отложениях, содержащих полную геохимическую информацию об эволюции водного объекта. Приведены результаты анализа проб донных отложений, отобранных в Верхневолжских озерах и Иваньковском водохранилище. Сделан вывод, что состав рассматриваемых отложений свидетельствует о наличии различных зон, соответствующих уровню загрязнения и особенностям формирования состава этих отложений. Выделены три географические зоны на территории Верхней Волги, характеризующиеся различным (с точки зрения содержания тяжелых металлов и отравляющих веществ в донных отложениях) экологическим состоянием. Подчеркнуто, что на основании верифицируемых сведений об экологическом состоянии водного объекта возможна грамотная его эксплуатация.

**Ключевые слова:** состояние водного объекта, донные отложения, тяжелые металлы, отравляющие вещества, степень загрязненности, водный объект.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-3-94-100****ВВЕДЕНИЕ**

Изучение химического состава донных отложений в последние годы стало важным звеном в оценке экологического состояния водных объектов, поскольку именно состав донных отложений дает информацию о загрязнении такого объекта вследствие хозяйственной деятельности человека на его водосборной территории и наиболее адекватно отражает его современное состояние.

Донные отложения формируются в результате сложного взаимодействия климатических, гидрологических, механических, физических, химических, биологических и других процессов, протекающих во времени как на водосборной площади, так и в самом водном объекте. В наиболее активной составляющей поверхностного слоя донных отложений, представленной глинистыми минералами, оксидами железа и марганца, органическим веществом, образовавшимся вследствие процессов сорбции, ионного обмена и коагуляции, фиксируется техногенное загрязнение окружающей среды, то есть анализ состава донных отложений позволяет получить геохимическую информацию об условиях, существовавших ранее в окружающем водный объект географическом комплексе.





Рис. 2. Ивановское водохранилище

Для отбора проб донных отложений использовали челночный геологоразведочный бур ТБГ-1 или грейдерный дночерпатель (в зависимости от глубины воды и характера донных отложений) [2]. Определение концентрации тяжелых металлов в пробах донных отложений осуществлялось атомно-адсорбционным методом после их разложения в «царской водке» [3]. Анализы проводились на геологическом факультете МГУ и в Институте геохимии Гейдельбергского университета [4].

Степень загрязнения донных отложений тяжелыми металлами оценивалась по различным критериям (показателю накопления, суммарному показателю загрязнения и  $I_{\text{гео}}$ -классам) [5].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам исследования содержания тяжелых металлов в донных отложениях Верхней Волги были выделены три зоны в зависимости от уровня загрязнения и особенностей накопления.

Первый участок – Верхневолжское водохранилище. По отношению к остальным участкам (Волга ниже бейшлота и Ивановское водохранилище) в среднем здесь наблюдаются более низкие концентрации тяжелых металлов. Для некоторых пунктов наблюдения (в заливах, в зоне подпора бейшлота) повышение содержания тяжелых металлов в донных отложениях обусловлено замедленным водообменом и, как показал корреляционный анализ, накоплением органических веществ.

Второй участок – собственно Волга ниже бейшлота до Ивановского водохранилища (села Городня) – характеризуется постепенным повышением содержания тяжелых металлов в донных отложениях вниз по течению реки с пиками загрязнения в зоне населенных пунктов. Корреляционные связи между содержанием тяжелых металлов и органических веществ в указанных отложениях, по сравнению с Верхневолжскими озерами, на этом участке имеют иной характер. Наиболее сильная корреляционная связь выявлена между содержанием Mn и остальными тяжелыми металлами. Для этого участка из-за довольно быстрого течения несвойственно накопление донных отложений с высоким содержанием органических веществ. В зонах промышленных загрязнений происходит изменение форм миграции тяжелых металлов: преобладают легкообменные карбонатные и гидроокисные формы с образованием так называемых техногенных илов.

Третий участок – Ивановское водохранилище – характеризуется многократным увеличением содержания Cd, Zn, Pb и Cu по сравнению с первыми двумя. Максимальные концентрации тяжелых металлов выявлены в приплотинной части водохранилища.

Расчет суммарного показателя загрязнения донных отложений показал, что наиболее загрязнены донные отложения в поселке городского типа Селижарово, городах Зубцов, Старица, Тверь (уровень – «умеренно загрязненные»). В Ивановском водохранилище, вблизи Конаково (в приплотинной части водохранилища) и некоторых других местах показатель загрязнения донных отложений тяжелыми металлами достигает очень высокого уровня.

В некоторых пунктах наблюдения уровень содержания тяжелых металлов в донных отложениях Верхней Волги для Cd и Zn, согласно  $I_{\text{гео}}$ -классам, оценивался как умеренно загрязненный», а для Pb – как среднезагрязненный.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование содержания тяжелых металлов в донных отложениях озер Верхневолжского бассейна показало, что на рост рассмотренных загрязнений влияют выбросы и промышленные, и отходов бытовой хозяйственной деятельности человека. В результате ухудшается экологическое состояние водных объектов, особенно вблизи крупных населенных пунктов.

Содержание тяжелых металлов и отравляющих веществ в донных отложениях, с нашей точки зрения, является важнейшим критерием экологического состояния водного объекта [6, 7], позволяющим выработать рекомендации по использованию этого объекта, застройке и промышленной эксплуатации близлежащих территорий, а также мероприятий по его охране, в том числе внедрению и эксплуатации современных водоочистных сооружений.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Коломийцев Н.В., Ильина Т.А., Киселева О.Е., Иванов Г.Н. Тяжелые металлы в донных отложениях озера Селигер // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2006. № 5. С. 21–25.
2. Женихов Ю.Н., Кузовлев В.В., Иванов Г.Н., Левинский В.В. Экология Верхневолжской водной системы: монография. Тверь: ТГТУ. 2010. 104 с.
3. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: учебник. М.: Логос. 2000. 627 с.
4. Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А., Аверкина Т.И., Самарин Е.Н., Иванов Г.Н., Мюллер Г., Яхья А. Загрязнение водных экосистем озера Селигер тяжелыми металлами // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2004. № 5. С. 43–46.
5. Иванов Г.Н., Кривенко И.В., Смирнова М.А., Испирян С.Р. Методы оценки загрязнения донных отложений тяжелыми металлами // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 1 (9). С. 79–86.
6. Kwon Y.-T., Lee C.-W. Application of multiple ecological risk indices for the evaluation of heavy metal contamination in a coastal dredging area // *The Science of the Total Environment*. 1998. Vol. 214, pp. 203–210.
7. Kwon Y.-T., Lee C.-W. Sediment metal speciation for the ecology risk assessment // *Analytical Science*. 2001. Vol. 17 (5), pp. 653–658.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**ИВАНОВ Григорий Николаевич** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: ivanovgrigoriy@mail.ru

**КРИВЕНКО Ирина Валерьевна** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей физики, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: krivenko-irina@mail.ru

**СМИРНОВА Марина Анатольевна** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информатики и прикладной математики, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: mar-smir@yandex.ru

**ИСПИРЯН Светлана Рафаиловна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общей физики, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: ispirian-tstu@mail.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Иванов Г.Н., Кривенко И.В., Смирнова М.А., Испирян С.Р. Оценка уровня накопления тяжелых металлов в донных отложениях // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 3 (15). С. 94–100.

**ESTIMATION THE LEVEL  
OF ACCUMULATION HEAVY METALS  
IN BOTTOM SEDIMENTS**

**G.N. Ivanov, I.V. Krivenko,  
M.A. Smirnova, S.R. Ispiryayev**  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** It is noted that one of the most important indicators of an effective and reliable assessment of the ecological state of a water body is the content of heavy metals in its bottom sediments containing complete geochemical information about the evolution of a water body. The results of the analysis of samples of bottom sediments taken in the Upper Volga lakes and the Ivankovsky reservoir are presented. It is concluded that the composition of the deposits under consideration indicates the presence of various zones corresponding to the level of pollution and the peculiarities of the formation of the composition of these deposits. Three geographical zones on the territory of the Upper Volga are distinguished, characterized by a different (in terms of the content of heavy metals and toxic substances in bottom sediments) ecological state. It is emphasized that on the basis of verified information about the ecological state of the water body, its competent operation is possible.

**Keywords:** state of the water body, bottom sediments, heavy metals, pollution degree of water bodies.

**REFERENCES**

1. Kolomijcev N.V., Il'ina T.A., Kiseleva O.E., Ivanov G.N. Heavy metals in the sediments of Lake Seliger. *Melioraciya i vodnoe khozyajstvo*. 2006. No. 5, pp. 21–25. (In Russian).
2. Zhenihov Yu.N., Kuzovlev V.V., Ivanov G.N., Levinskiy V.V. *Ekologiya Verhnevolzhskoy vodnoy sistemy: monografiya* [Ecology of the Upper Volga water system: monograph]. Tver: TGTU. 2010. 104 p.
3. Alekseenko V.A. *Ekologicheskaya geohimiya: uchebnik* [Ecological geochemistry: textbook]. Moscow: Lotos. 2000. 627 p.
4. Kolomiytsev N.V., Korzhenevsky B.I., Ilyina T.A., Averkina T.I., Samarin E.N., Ivanov G.N., Muller G., Yahya A. Pollution of water ecosystems of Lake Seliger heavy metals. *Melioraciya i vodnoe khozyajstvo*. 2004. No. 5, pp. 43–46. (In Russian).
5. Ivanov G.N., Krivenko I.V., Smirnova M.A., Ispiryayev S.R. Methods for estimating pollution of bottom sediments with heavy metals. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Stroitel'stvo. Elektrotekhnika i khimicheskiye tekhnologii»*. 2021. No. 1 (9), pp. 79–86. (In Russian).
6. Kwon Y.-T., Lee C.-W. Application of multiple ecological risk indices for the evaluation of heavy metal contamination in a coastal dredging area. *The Science of the Total Environment*. 1998. Vol. 214, pp. 203–210.

7. Kwon Y.-T., Lee, C.-W. Sediment metal speciation for the ecology risk assessment. *Analytical Science*. 2001. Vol. 17 (5), pp. 653–658.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*IVANOV Grigory Nikolaevich* – Candidate of Geologo-mineralogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining, Environmental Management and Industrial Ecology, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: ivanovgrigoriy@mail.ru

*KRIVENKO Irina Valer'ena* – Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Physics, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: krivenko-irina@mail.ru

*SMIRNOVA Marina Anatol'evna* – Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Informatics and Applied Mathematics, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: mar-smir@yandex.ru

*ISPIRYAN Svetlana Rafailovna* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Physics, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: ispirian-tstu@mail.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Ivanov G.N., Krivenko I.V., Smirnova M.A., Ispiryani S.R. Estimation the level of accumulation heavy metals in bottom sediments // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 3 (15), pp. 94–100.