

6. Janbu N. Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis. In: Proceedings of European Conference on Stability of Earth Slopes, Sweden, 1954. Pp. 43–49.
7. Morgenstern N.R., Price V.E. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Geotechnique*. Vol. 15. 1965. Pp. 79–93. DOI: 10.1680/geot.1965.15.1.79.
8. Шахунянц Г.М. Земляное полотно железных дорог. М.: Трансжелдориздат, 1953. 828 с.
9. Моделирование устойчивости откоса по различным кривым скольжения / К.Н. Анахаев, А.С. Бестужева, В.В. Беликов, А.Б. Балкизов, М.О. Мамчур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 4. С. 55–69. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-4-55-69.
10. Применение метода конечных элементов в геотехнических расчетах по первому предельному состоянию / В.Г. Федоровский, Г.А. Бобырь, И.А. Бокон, С.В. Ильин // Вестник НИЦ Строительство. 2019. № 1(20). С. 102–112.
11. Качаев А.Е., Турапин С.С. Особенности реконструкции земляных плотин мелиоративных систем // Наука и мир. 2024. № 3. С. 6–10. DOI: 10.26526/2307-9401-2024-3-6-10.
12. Lane P.A., Griffiths D.V. Assessment of stability of slopes under drawdown conditions. *Jnl. Geotech. and Geoenv. Engng*. Vol. 126(5). 2000. Pp. 443–450.
13. Механизация транспортных процессов в дорожном строительстве: учебное пособие / А.А. Романович, В.А. Уваров, Т.Н. Орехова, А.Е. Качаев, Е.В. Харламов. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 134 с.
14. Качаев А.Е., Турапин С.С. Анализ этапов BIM-моделирования при проектировании и реконструкции гидротехнических сооружений // Наука и мир. 2025. № 1. С. 16–20. DOI: 10.26526/2307-9401-2025-1-16-20.
15. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). 2-е изд. Л.: Стройиздат, 1988. 415 с.

## REFERENCES

1. Aniskin N.A., Sergeev S.A. Stability of the slope of an earth dam during reservoir drawdown // *Construction: Science and Education*. 2022. Vol. 12, No. 3. Pp. 6–17. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.1.
2. Kachaev A.E., Turapin S.S. Methodology for numerical modeling of earth dam stability during emergency reservoir drawdown // *Ecology and Construction*. 2024. No. 4. Pp. 4–13. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-001.
3. Fellenius W. Calculation of the Stability of Earth Dams, *Trans. 2nd Cong. on Large Dams*. Vol 4. 1936. 445 p.
4. Bishop A.W., Morgenstern N. Stability Coefficients for Earth Slopes. *Geotechnique*. Vol.10(4).1960. Rr. 129–153. DOI: 10.1680/geot.1960.10.4.129.

5. Spencer E. A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces. *Geotechnique*. Vol.17. Pp. 11–26. 1967. DOI: 10.1680/geot.1967.17.1.11.
6. Janbu N. Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis. In: Proceedings of European Conference on Stability of Earth Slopes, Sweden, 1954. Pp. 43–49.
7. Morgenstern N.R., Price V.E. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Geotechnique*. Vol. 15. 1965. Pp. 79–93. DOI: 10.1680/geot.1965.15.1.79.
8. Shakhunyants G.M. *Railway Roadbed*. Moscow, Transzheldorizdat, 1953. 828 p.
9. Anakhaev K.N., Bestuzheva A.S., Belikov V.V., Balkizov A.B., Mamchuev M.O. Modeling Slope Stability Using Various Slip Curves // *Bulletin of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2025. Vol. 27. No. 4. Pp. 55–69. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-4-55-69.
10. Fedorovsky V.G., Bobyr G.A., Bokov I.A., Ilyin S.V. Application of the finite element method in geotechnical calculations for the first limit state // *Bulletin of the Scientific Research Center Construction*. 2019. No. 1(20). Pp. 102–112.
11. Kachaev A.E., Turapin S.S. Features of the reconstruction of earth dams of melioration systems // *Science and Peace*. 2024. No. 3. Pp. 6–10. DOI: 10.26526/2307-9401-2024-3-6-10.
12. Lane P.A., Griffiths D.V. Assessment of stability of slopes under drawdown conditions. *Jnl. Geotech. and Geoenv. Engng*. Vol. 126(5). 2000. Pp. 443–450.
13. Romanovich A.A., Uvarov V.A., Orekhova T.N., Kachaev A.E., Kharlamov E.V. Mechanization of transport processes in road construction: A tutorial. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. 134 p.
14. Kachaev A.E., Turapin S.S. Analysis of BIM modeling stages in the design and reconstruction of hydraulic structures // *Science and Peace*. 2025. No. 1. Pp. 16–20. DOI: 10.26526/2307-9401-2025-1-16-20.
15. Dalmatov B.I. Soil mechanics, foundations and foundations (including a special course in engineering geology). 2nd edition, Leningrad: Stroyizdat, 1988. 415 p.

**Сорока Вадим Вадимович**, студент 4-го курса, ORCID: 0009-0009-6990-3666 (Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета, г. Коломна, Россия); **Качаев Александр Евгеньевич**, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, зав. отделом эксплуатации гидромелиоративных систем и гидротехнических сооружений, doctor\_cement@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6840-2477; **Турапин Сергей Сергеевич**, канд. техн. наук, врио директора, вед. науч. сотрудник, rrgaduga@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-1198-2511 (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия).

УДК 626/627

DOI: 10.32962/0235-2524-2026-1-11-14

## ОСОБЕННОСТИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КУЧУКСКОГО ГИДРОУЗЛА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ ВОД

Д.Е. КУПРИЯНОВ, Т.В. ПИЛИПЕНКО, Д.А. ЕФРЕМЕНКО, М.В. ГЛИСТИН

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, агрессивные воды, соленые воды, коррозия бетона, сульфатная коррозия, георадарные исследования, добротность бетона, остаточный ресурс

**Keywords:** hydraulic structures, aggressive waters, saline waters, concrete corrosion, sulfate corrosion, ground penetrating radar, concrete quality factor, residual service life

**Аннотация.** Кучукский гидроузел, расположенный на озере Кучук Алтайского края, эксплуатируется в условиях воздействия агрессивных соленых вод, что существенно влияет на долговечность и надежность его конструкций. В статье представлены результаты комплексного обследования бетонных и металлических элементов гидроузла, выполненного в рамках экспертизы декларации безопасности гидротехнического сооружения. Исследования включали визуальное обследование, неразрушающий и разрушающий контроль прочности бетона, лабораторные испытания кернов, а также георадарные исследования с анализом параметров объемной влажности и добротности бетона.

Установлено, что бетонные конструкции находятся в ограниченно работоспособном состоянии вследствие развития процессов выщелачивания и сульфатной коррозии, обусловленных химическим составом водоема. Металлические элементы характеризуются значительным коррозионным износом, превышающим 40% от первоначальной толщины. Получена эмпирическая зависимость прочности бетона от параметра добротности  $Q$ , подтверждающая возможность использования георадарных методов для экспресс-оценки технического состояния гидротехнических сооружений. Выполнена оценка остаточного ресурса железобетонных конструкций по показателю морозостойкости. Сформулированы рекомендации по обеспечению безопасной эксплуатации Кучукского гидроузла, соответствующие требованиям нормативных документов в области водного хозяйства и мелиорации.

**Abstract.** The Kuchuk hydraulic system located on Lake Kuchuk (Altai Territory) operates under the influence of aggressive saline waters, which significantly affects the durability and reliability of its structures. The article

presents the results of a comprehensive survey of concrete and metal elements of the hydraulic system carried out within the framework of the safety declaration examination. The studies included visual inspection, destructive and non-destructive concrete strength testing, laboratory testing of drilled cores, as well as ground penetrating radar surveys with analysis of volumetric moisture content and concrete quality factor.

It was established that concrete structures are in a limited serviceable condition due to leaching and sulfate corrosion processes caused by the chemical composition of the reservoir water. Metal elements are characterized by significant corrosion wear exceeding 40% of the original thickness. An empirical relationship between concrete compressive strength and quality factor  $Q$  was obtained, confirming the applicability of ground penetrating radar methods for rapid assessment of hydraulic structure condition. The residual service life of reinforced concrete structures was assessed based on frost resistance. Recommendations aimed at ensuring safe operation of the Kuchuk hydraulic system in accordance with water management and reclamation standards are formulated.

**Введение.** Гидротехнические сооружения, эксплуатируемые в условиях воздействия агрессивных вод, требуют повышенного внимания к вопросам надежности и долговечности, поскольку химический состав воды способен существенно ускорять процессы коррозии конструкционных материалов [1, 2]. Особую группу риска представляют сооружения, расположенные на соленых и горько-соленых водоемах, где совместное действие химической агрессии, переменного увлажнения и температурных факторов приводит к ускоренной деградации бетона и металла [3–5].

Кучукский гидроузел расположен на озере Кучук Алтайского края – горько-соленом водоеме, который более 200 лет используется для добычи мирабилита (глауберовой соли). По химическому составу воды относятся к хлоридно-гидрокарбонатным магниево-кальевым (натриевым) с минерализацией порядка 1 г/л [6]. Гидроузел эксплуатируется свыше 60 лет и включает земляную насыпную плотину, водосбросное сооружение и водозабор с насосной станцией.

В ходе очередной экспертизы декларации безопасности гидротехнического сооружения, выполненной в соответствии с требованиями ГОСТ 31937–2011 и СП 47.13330.2016, выявлены дефекты бетонных и металлических конструкций, указывающие на ограниченно работоспособное состояние отдельных элементов. Цель работы заключается в анализе технического состояния сооружений Кучукского гидроузла в условиях воздействия агрессивных соленых вод, оценке остаточ-

ного ресурса конструкций и разработке рекомендаций по обеспечению их безопасной эксплуатации.

**Материалы и методы исследования.** Классификация технического состояния конструкций выполнена в соответствии с ГОСТ 31937–2011. Расчет остаточного ресурса железобетонных элементов осуществлялся по показателю морозостойкости как наиболее неблагоприятному фактору долговечности при эксплуатации в условиях переменного увлажнения и отрицательных температур [7].

Оценка технического состояния конструкций Кучукского гидроузла выполнена на основе комплекса полевых и лабораторных исследований, включающих:

- визуальное обследование бетонных и металлических конструкций с фиксацией дефектов и повреждений;
- неразрушающий контроль прочности бетона ультразвуковым и механическим методами;
- лабораторные испытания кернов бетона на прочность, морозостойкость и водонепроницаемость;
- ультразвуковой контроль остаточной толщины металлических элементов водосбросного сооружения;
- георадарные исследования бетонных конструкций с построением вертикальных и горизонтальных разрезов по параметрам объемной влажности  $W$  и добротности  $Q$ .

Классификация технического состояния конструкций выполнена в соответствии с ГОСТ 31937–2011. Расчет остаточного ресурса железобетонных элементов осуществлялся по показателю морозостойкости как наиболее неблагоприятному фактору долговечности при эксплуатации в условиях переменного увлажнения и отрицательных температур [7].

#### Результаты и обсуждение

**Состояние бетонных конструкций.** В результате визуального обследования бетонных элементов водосбросного сооружения выявлены продольные и поперечные трещины в ремонтном слое, следы фильтрации воды через трещины, сопровождающиеся выщелачиванием цементного камня (коррозия I рода), а также проявления сульфатной коррозии (коррозия III рода). Зафиксированы дефекты, связанные с качеством ранее выполненных ремонтных работ, включая холодные швы и отслаивание защитной рубашки бетона от основного тела конструкции.

Лабораторные и неразрушающие испытания показали, что плотность бетона составляет в среднем  $2,206 \text{ т/м}^3$ , а водонепроницаемость соответствует классу W6. Средние значения прочности бетона защитной рубашки превышают прочность бетона основного тела сооружения приблизительно на 5 МПа, что свидетельствует о частичной деградации старого бетона. После испытаний на морозостойкость прочность бетона рубашки снизилась на 15%, а бетона тела – на 30...50%, при этом морозостойкость не соответствует нормативным требованиям (менее 5 циклов), что указывает на исчерпание долговечности материала [8, 9].

#### Состояние металлических конструкций.

Металлические элементы водосбросного сооружения, включая направляющие и опоры шандор, характеризуются равномер-

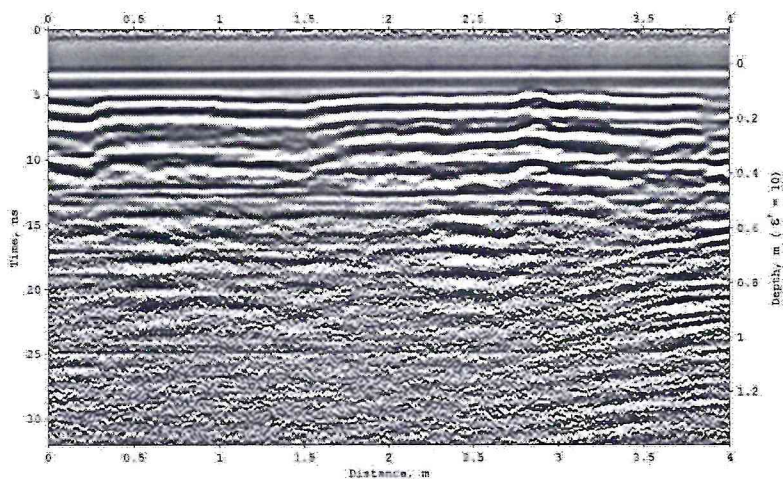


Рис. 1. Георадарный разрез бетонных конструкций по профилю обследования

ной и язвенной коррозией. По результатам ультразвукового контроля установлено, что средний износ металла превышает 40% от первоначальной толщины по сортаменту, что соответствует ограниченно работоспособному состоянию и требует принятия инженерных мер по восстановлению или замене элементов [10].

**Георадарные исследования и анализ параметра  $Q$ .** В зоне исследований выполнено 148 профилей георадарного зондирования бетонных конструкций. Пример георадарного разреза по профилю представлен на рис. 1.

Анализ данных показал, что объемная влажность бетона изменяется в пределах 15...22% и возрастает с глубиной. Пространственное распределение объемной влажности представлено на рис. 2а. Параметр добротности  $Q$  изменяется от 3,4 до 11,6. Георадарный разрез по параметру добротности приведен на рис. 2б.

Установлена обратная линейная зависимость между параметром  $Q$  и прочностью бетона на сжатие:

$$R = 35 - Q,$$

где  $R$  – прочность бетона на сжатие, МПа;  $Q$  – параметр добротности. Полученная зависимость согласуется с результатами ранее выполненных исследований в области неразрушающего контроля бетона [11–13] и подтверждает перспективность использования георадарных методов при обследовании гидротехнических сооружений.

В зоне исследований выполнено 148 профилей георадарного зондирования бетонных конструкций. Анализ данных показал, что объемная влажность бетона изменяется в пределах 15...22% и возрастает с глубиной. Резкое увеличение влажности наблюдается в зоне контакта старого и нового бетона, что подтверждено результатами лабораторных испытаний кернов. Параметр добротности  $Q$  изменяется от 3,4 до 11,6.

**Оценка остаточного ресурса.** Оценка остаточного ресурса железобетонных конструкций выполнена по показателю морозостойкости:

$$T = C / t_0,$$

где  $T$  – остаточный ресурс эксплуатации, лет;  $C$  – количество циклов замораживания-оттаивания, выдерживаемых бетоном ( $C=5$ );  $t_0$  – среднее число циклов в год ( $t_0=1$ ).

Полученные значения остаточного ресурса свидетельствуют о необходимости реализации комплекса ремонтно-восстановительных мероприятий в ближайшей перспективе для предотвращения аварийных ситуаций.

#### Выводы

1. Установлено, что эксплуатация Кучукского гидроузла в условиях воздействия агрессивных соленых вод приводит к ускоренной деградации бетонных и металлических конструкций.

2. Основными механизмами разрушения бетона являются процессы выпелачивания и сульфатной

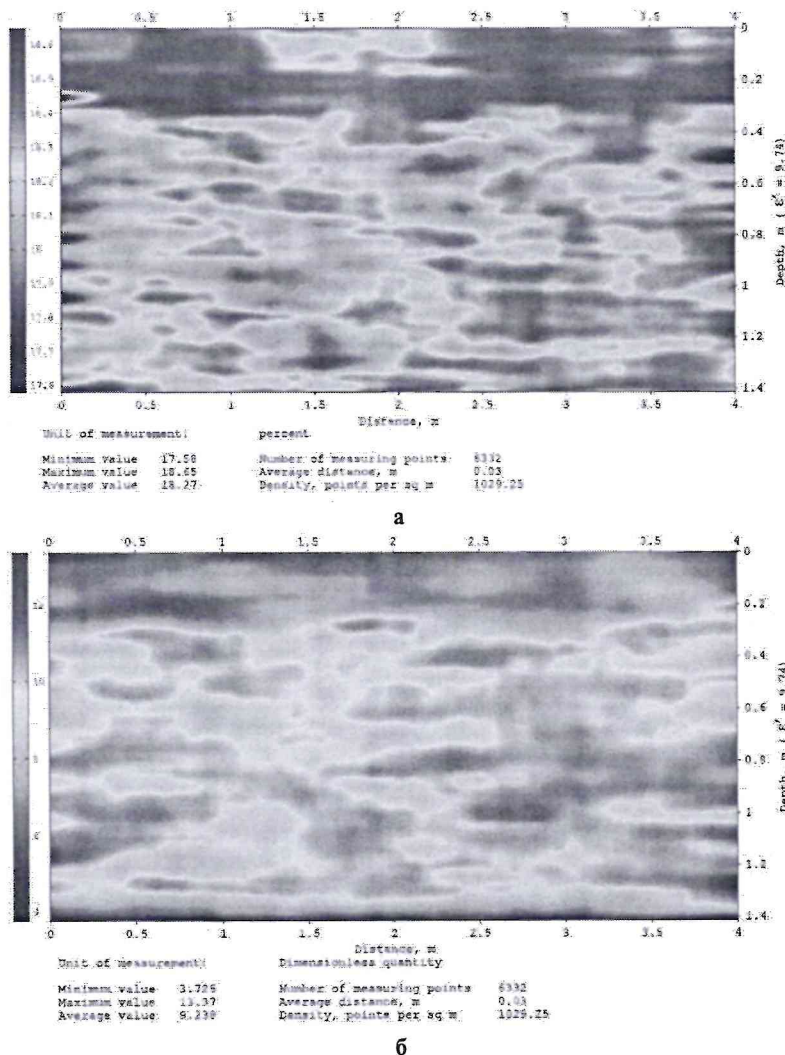


Рис. 2. Георадарный разрез:  
а – по объемной влажности  $W$ ; б – по добротности  $Q$

коррозии, сопровождающиеся снижением прочности и морозостойкости материала.

3. Выявлена устойчивая эмпирическая зависимость прочности бетона от параметра добротности  $Q$ , что позволяет использовать георадарные исследования для оценки технического состояния сооружений без их вскрытия.

4. Коррозионный износ металлических конструкций водосбросного сооружения превышает 40%, что требует их замены или усиления.

5. Для обеспечения безопасной эксплуатации Кучукского гидроузла рекомендуется реализация комплекса инженерных мероприятий, включающих восстановление бетонных конструкций, замену металлических элементов и организацию мониторинга технического состояния.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
2. Сокольников Ю.Н. Инженерная морфодинамика берегов и ее приложения. Киев: Наукова думка, 1976. 226 с.
3. Neville A.M. Properties of Concrete. London: Pearson Education, 2011. 872 p.

4. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill, 2014. 684 p.
5. Neville A. Chloride attack of reinforced concrete: an overview // Materials and Structures. 1995. Vol. 28. P. 63–70.
6. Пилипенко Т.В., Куприянов Д.Е. Особенности эксплуатации гидротехнических сооружений в условиях соленых вод // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 4. С. 45–52.
7. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
8. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
9. СП 11-105–97. Инженерно-геофизические изыскания для строительства.
10. Melchers R.E. Modelling of marine immersion corrosion for mild and low alloy steels // Corrosion Science. 2003. Vol. 45. P. 923–940.
11. Daniels D.J. Ground Penetrating Radar. London: IET, 2004. 734 p.
12. Bungey J.H., Millard S.G., Grantham M.G. Testing of Concrete in Structures. London: Taylor & Francis, 2006. 352 p.
13. Hugenschmidt J., Kalogeropoulos A. The inspection of retaining walls using GPR // Journal of Applied Geophysics. 2009. Vol. 67. P. 335–344.
17. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill, 2014. 684 p.
18. Neville A. Chloride attack of reinforced concrete: an overview // Materials and Structures. 1995. Vol. 28. P. 63–70.
19. Pilipenko T.V., Kuprijanov D.E. Osobennosti èkspluatácii gidrotexnièeskix sooruzenij v uslovijax solènyx vod // Melioracija i vodnoe hozjajstvo. 2021. № 4. S. 45–52.
20. GOST 31937–2011. Zdanija i sooruzenija. Pravila obsledovanija i monitoringa texnièeskogo sostojanija.
21. SP 47.13330.2016. Inženernye izyskanija dlja stroitel'stva. Osnovnye položeniya.
22. SP 11-105–97. Inženerno-geofizièskie izyskanija dlja stroitel'stva.
23. Melchers R.E. Modelling of marine immersion corrosion for mild and low alloy steels // Corrosion Science. 2003. Vol. 45. P. 923–940.
24. Daniels D.J. Ground Penetrating Radar. London: IET, 2004. 734 p.
25. Bungey J.H., Millard S.G., Grantham M.G. Testing of Concrete in Structures. London: Taylor & Francis, 2006. 352 p.
26. Hugenschmidt J., Kalogeropoulos A. The inspection of retaining walls using GPR // Journal of Applied Geophysics. 2009. Vol. 67. P. 335–344.

## REFERENCES

14. Zenkovič V.P. Osnovy učeniya o razvitii morskix beregov. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. 710 s.
15. Sokol'nikov Ju.N. Inženernaja morfodinamika beregov i ee prilozhenija. Kiev: Naukova dumka, 1976. 226 s.
16. Neville A.M. Properties of Concrete. London: Pearson Education, 2011. 872 p.

**Куприянов Даниил Евгеньевич**, помощник гл. инженера проектов, [info@zsgvh.ru](mailto:info@zsgvh.ru); **Ефременко Дмитрий Анатольевич**, ген. директор, [info@zsgvh.ru](mailto:info@zsgvh.ru); **Глистин Михаил Владимирович**, канд. с.-х. наук, гл. инженер проектов, [info@zsgvh.ru](mailto:info@zsgvh.ru) (Запсибгипроводхоз, г. Новосибирск, Россия); **Пилипенко Татьяна Викторовна**, канд. техн. наук доцент, кафедра ГТСБЭ, [t.v.pilipenko@psawt.ru](mailto:t.v.pilipenko@psawt.ru) (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибирск, Россия).

УДК 627.157; 002.637 (282.247.41)

DOI: 10.32962/0235-2524-2026-1-14-18

## ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ИВАНЬКОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Г.Ю. ТОЛКАЧЕВ, Е.Н. САМАРИН, Т.А. ИЛЬИНА, Б.И. КОРЖЕНЕВСКИЙ

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, водная растительность, загрязнение, донные отложения, водные объекты, мониторинг

**Keywords:** heavy metals, aquatic vegetation pollution, sediments, water bodies, monitoring

**Аннотация.** В условиях современной антропогенной экспансии, экосистема водных объектов является источником накопления загрязнителей, а донные отложения водохранилищ, в большинстве случаев — потенциальный барьер для дальнейшего перемещения одних из наиболее токсичных загрязнителей — тяжелых металлов. Обязательным атрибутом таких объектов выступает водная растительность, являющаяся, с одной стороны, фактором осадконакопления тонкой фракции — активного сорбента тяжелых металлов, а с другой — непосредственным накопителем, депонирующим тяжелые металлы. Рассмотрены вопросы изучения загрязнения водной растительности на территории Иваньковского водохранилища. Определены соотношения различных тяжелых металлов в корневищах, стеблях и листьях камыша озерного (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla). Представлены некоторые методические и экспериментальные действия при мониторинге загрязнения. Отмечено, что водная растительность в меньшей степени, чем донные отложения, является средой, депонирующей загрязнение тяжелыми металлами исследуемого объекта.

**Abstract.** In the conditions of modern anthropogenic expansion, the ecosystem of water bodies is a source of accumulation of pollutants, and the sediments of reservoirs, in most cases, are a potential barrier to the further movement of one of the most toxic pollutants — heavy metals. An obligatory attribute of such objects is aquatic vegetation, which, on the one hand, is a factor in the sedimentation of a fine fraction — an active sorbent of heavy metals, and on the other — a direct accumulator depositing heavy metals. The issues of studying the pollution of aquatic vegetation on the territory of the Ivan'kovo reservoir are considered. The ratios of various heavy metals in the rhizomes, stems, and foliage of lake reed (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla) have been determined. Some methodological and experimental actions in pollution monitoring are presented. It is noted that aquatic vegetation, to a lesser extent than bottom sediments, is an environment depositing heavy metal pollution of the studied object.

В водной среде загрязняющие вещества концентрируются в основном в составе донных отложений (ДО), влияя непосредственно и опосредовано на качество воды. ДО водных объектов можно считать конечным звеном круговорота техногенных элементов в ландшафте: вследствие своих высоких сорбционных свойств тонкие фракции сорбируют достаточно широкий комплекс загрязнителей. Степень загрязнения ДО может рассматриваться в качестве интегрального показателя техногенной нагрузки на водный объект, а также является информацией об интенсивности и направленности инженерно-хозяйственной деятельности на сопредельной водосборной территории. Изучение загрязнения ДО водных объектов химическими элементами продолжает оставаться одной из важных проблем геоэкологии и охраны окружающей среды. Отсутствие формальной нормативной базы по этим показателям привело к различным и многообразным подходам и методам решений поставленной задачи. В настоящее время состояние водных объектов, в значительной степени, определяется техногенными факторами. Наиболее опасными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы (ТМ): Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn и As. Исследования ДО водоемов позволяют установить неблагоприятные участки и определить источники загрязнения для водных объектов, являющимися как источниками водообеспечения, так и рекреационными территориями [1, 2].