

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Обзорная статья

УДК 631.67.03:627.157

Анализ методов оценки качества донных отложений

Татьяна Ильинична Дрововозова¹, Любовь Александровна Булгакова²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²syemma08@mail.ru

Аннотация. Цель: анализ существующих методик оценки качества донных отложений. При расчистке открытых коллекторных каналов в земляном русле образуется достаточное количество донного грунта, требующего размещения. Донный грунт коллекторных каналов можно рассматривать как донные отложения искусственно созданного водного объекта. **Обсуждение.** В настоящее время отсутствуют нормативы предельно допустимых (ПДК) и ориентировочно допустимых (ОДК) концентраций веществ в донных отложениях, что затрудняет оценку их качества. Наиболее распространенной методикой оценки качества донных отложений является определение их токсичности по содержанию тяжелых металлов. Однако о загрязнении донных отложений и, следовательно, водной среды невозможно судить только по содержанию тяжелых металлов. В водной среде могут присутствовать трудноокисляемые органические соединения, которые также свидетельствуют о загрязнении, особенно если водосбор представляет собой агроландшафт. В основу всех методик положено сравнение фактического содержания элемента с ПДК или ОДК в почве, либо фоновым, либо кларком почв. Подобный подход не подходит для оценки качества донных отложений в коллекторных каналах, поскольку ПДК или ОДК элемента в почве не отражает его содержание в донном грунте, не ясно, что принимать за геохимический фон для донного грунта коллекторного канала. **Выводы.** Невозможно провести достоверную оценку экологического состояния донных отложений, используя методики оценки для почв, что связано с различием в условиях формирования исследуемых компонентов и их физико-химических свойств. Установлено, что основным показателем, характеризующим качество донных отложений, является их гранулометрический состав. Для оценки качества донных отложений рекомендовано использовать интегральный модифицированный суммарный показатель загрязнения донных осадков.

Ключевые слова: донные отложения, методы оценки, тяжелые металлы, органические соединения, коллекторные каналы

Для цитирования: Дрововозова Т. И., Булгакова Л. А. Анализ методов оценки качества донных отложений // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 369–377.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Review article

Analysis of methods for assessing the bottom sediment quality

Tatyana I. Drovovozova¹, Lyubov A. Bulgacova²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²syemma08@mail.ru

Abstract. Purpose: to analyze the existing methods for assessing the bottom sediment quality. When clearing open collector channels in an earthen canal, a sufficient amount of bottom soil, requiring the placement, is formed. The bottom soil of collector channels can be considered as bottom sediments of an artificial water body. **Discussion.** Currently, there are no standards for maximum permissible (MPC) and approximate permissible (APC) concentrations of substances in bottom sediments, which makes it difficult to assess their quality. The most common method for assessing the bottom sediment quality is to determine their toxicity by the heavy metal content. However, the pollution of bottom sediments and, consequently, the aquatic environment cannot be judged only by the content of heavy metals. Resistant to oxidation organic compounds, which also indicate pollution, may be present in the aquatic environment, especially if the watershed is an agricultural landscape. All methods are based on the comparison of the actual content of an element with MPC or APC in soil, either the background or soil Clarke. This approach is not suitable for assessing the quality of bottom sediments in collector channels, since the MPC or APC of an element in soil does not reflect its content in the bottom soil, and it is not clear what to take as the geochemical background for the bottom soil of a collector channel. **Conclusions.** It is impossible to perform a reliable assessment of the ecological condition of bottom sediments using assessment methods for soils, which is due to the difference in the conditions of formation of the studied components and their physical-chemical properties. It has been determined that the main indicator characterizing the quality of bottom sediments is their granulometric texture. To assess the quality of bottom sediments, it is recommended to use an integral modified consolidated indicator of bottom sediment pollution.

Keywords: bottom sediments, assessment methods, heavy metals, organic compounds, collector channels

For citation: Drovovozova T. I., Bulgacova L. A. Analysis of methods for assessing the bottom sediment quality. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2023;91(3):369–377. (In Russ.).

Введение. В соответствии с правилами эксплуатации мелиоративных систем к одной из основных задач относится содержание их в исправном (надлежащем) техническом состоянии. И если техническому состоянию оросительных систем уделяется достаточное внимание, то расчистка открытых отводящих коллекторно-дренажных каналов в земляном русле от донных отложений, от высшей водной растительности проводится редко. Коллекторные каналы являются искусственно созданными водными объектами, имеющими свой уникальный эколого-гидрохимический состав. Поступление в течение длительного времени дренажных вод с орошаемых земель в коллекторные каналы способствует накоплению различных веществ в их донных отложениях, прежде всего биогенов, органических ве-

ществ, поэтому они сами могут стать источником загрязнения водной среды. Донные отложения коллекторных каналов можно рассматривать как индикаторы массопереноса веществ, уровня антропогенного воздействия на водные экосистемы.

При расчистке коллекторных каналов извлекается достаточное количество донного грунта, требующего размещения. В соответствии с российским законодательством донный грунт не рассматривается как отход, но, с другой стороны, отсутствие данных о его пользе или вреде не позволяет говорить о его экологической безопасности.

В настоящее время отсутствует единая утвержденная методика оценки качества донного грунта (донных отложений), отсутствуют какие-либо нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК), что не позволяет судить о степени его воздействия на водную среду, на почвы при размещении.

В связи с вышеизложенным, целью работы является анализ существующих методик оценки качества донных отложений для выявления показателей, характеризующих их экологическую безопасность.

Обсуждение. В настоящее время наиболее распространенной методикой оценки качества донных отложений является определение их токсичности по содержанию тяжелых металлов. Оценка осуществляется либо по коэффициенту концентрации, либо по показателю накопления металлов, либо по суммарному показателю загрязнения [1–4]. В основу всех методик положено сравнение фактического содержания элемента с ПДК или ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) в почве, либо фоновой, либо кларком почв. Однако подобный подход не подходит для оценки качества донных отложений в коллекторных каналах, поскольку ПДК или ОДК элемента в почве не отражает его содержание в донном грунте, не ясно, что принимать за геохимический фон для донного грунта коллекторного канала. Кроме того, любая оценка содержания элементов в оцениваемом

объекте должна сводиться к критериальной оценке, которая на сегодняшний день отсутствует.

Так, в Санкт-Петербурге был разработан региональный норматив «Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга», содержащий четыре класса загрязнения (I класс: целевой уровень вмешательства – слабозагрязненные, II класс: предельный уровень вмешательства – умеренно загрязненные, III класс: проверочный уровень вмешательства – сильнозагрязненные, IV класс: уровень вмешательства – опасно загрязненные). Концентрация каждого загрязняющего вещества классифицируется в соответствии с классами загрязнения¹. Однако такую оценку нельзя применить для других регионов, ввиду отличия регионального геохимического фона территорий.

Интегральные оценки дают более достоверную картину уровня загрязнения донных отложений² [5, 6]. Самый распространенный интегральный показатель оценки – это суммарный показатель загрязнения:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_k (n - 1),$$

где K_k – коэффициент концентрации, определяемый как:

$$K_k = \frac{C_i}{C_\phi},$$

где C_i и C_ϕ – концентрации загрязняющего вещества на исследуемом и фоновом участках соответственно.

Тем не менее при расчете суммарного показателя можно получить разные значения, которые зависят от количества учитываемых элементов, поэтому использовать только один показатель для оценки состояния донного грунта нельзя.

¹Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив, разработанный в рамках российско-голландского сотрудничества по программе PSO 95/RF/3/1. СПб., 1996. 20 с.

²Соколова Т. В. Методика интегральной эколого-геохимической оценки донных отложений искусственно созданных водных объектов в условиях природного и техногенного воздействия: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36. Воронеж, 2015. 22 с.

В работах И. И. Косиновой, Т. В. Соколовой, Н. С. Касимова, Р. Л. Пенина [7, 8] предлагается оценивать качество донных отложений по интегральному модифицированному суммарному показателю загрязнения донных осадков, который рассчитывается по всем анализируемым тяжелым металлам:

$$Z_y = \sum_{i=1}^n K_k - \log_2 n,$$

где K_k – коэффициент концентрации, рассчитанный относительно ориентировочно фоновых концентраций для различных гранулометрических разностей донных отложений;

n – число учитываемых элементов.

Уровень загрязнения донных отложений позволяет судить о степени загрязнения водного объекта. Агентством по охране окружающей среды США (U.S. Environment Protection Agency) разработан метод оценки качества водного объекта по содержанию тяжелых металлов в донных отложениях. Критерием оценки является норматив USEPA по качеству донных отложений (таблица 1), который широко используется и в России [9].

Таблица 1 – Нормативы USEPA качества донных отложений

В мг/кг

Table 1 – USEPA Bottom Sediment Quality Standards

In mg/kg

Уровень загрязнения	Содержание тяжелых металлов					
	Hg	Cr	Cd	Cu	Pb	Zn
Незагрязненные	< 1	< 25	–	< 25,0	< 40	< 90
Умеренно загрязненные	–	25–75	–	25–50	40–60	90–200
Сильнозагрязненные	> 1	> 75	> 6	> 50	> 60	> 200

При всей простоте и плюсах предложенной методики имеется один существенный недостаток: о загрязнении донных отложений и, следовательно, водной среды невозможно судить только по содержанию тяжелых металлов. В водной среде могут присутствовать трудноокисляемые органические соединения, которые также свидетельствуют о загрязнении, особенно если водосбор представляет собой агроландшафт [10, 11]. Последнее

обстоятельство особенно важно при рассмотрении качества водной среды и донных отложений в коллекторных каналах, расположенных в границах орошаемых земель.

Согласно И. И. Косиновой, Т. В. Соколовой [7], один из основных показателей качества донных отложений – их гранулометрический состав, являющийся главным критерием эколого-геохимических оценок.

При оценке донных отложений коллекторных каналов остается открытым вопрос: с чем сравнивать фактические концентрации веществ, что принимать за условно фоновые значения: ПДК элементов в почвах или фоновые значения в верховье коллектора.

Имеется опыт обследования донного грунта коллекторно-дренажных каналов оросительных систем Республики Дагестан. Основное направление исследований связано с установлением микроэлементного состава донного грунта, ограниченным определением цинка, меди, марганца. При этом авторами статьи превышений содержания указанных тяжелых металлов в донных отложениях коллекторных каналов не установлено, и, следовательно, они характеризуются как незагрязненные [12]. В то же время не рассматривались вопросы транслокации биогенов и органических веществ из дренажных вод в донный грунт в течение поливного периода, его адсорбционной активности.

Выводы. Проведен анализ существующих методов оценки качества донных отложений. Установлено, что невозможно провести достоверную оценку экологического состояния донных отложений, используя методики оценки для почв, что связано с различием в условиях формирования исследуемых компонентов и их физико-химических свойств. Выявлено, что основным показателем, характеризующим качество донных отложений, является их гранулометрический состав. Для оценки качества донных отложений рекомендовано использовать интегральный модифицированный суммарный показатель загрязнения донных осадков.

Список источников

1. Обоснование обобщающего показателя качества экологического состояния донных отложений / А. А. Кленкин, Л. Ф. Павленко, И. Г. Корпакова, З. А. Темердашев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. № 8. С. 11–14.
2. Базарский О. В. Механизмы образования донных осадков в водоемах // Материалы Второго молодежного инновационного проекта «Школа экологических перспектив». Воронеж: Изд-во ВГУ, 2013. С. 9–14.
3. Янин Е. П., Разенкова И. И., Журавлева М. Г. Техногенные илы – потенциальный источник вторичного загрязнения речных систем // Геоэкологические исследования и охрана недр: науч.-техн. информ. сб. М., 1992. С. 43–52.
4. Фокин Д. П., Фруммин Г. Т. Тяжелые металлы в донных отложениях восточной части Финского залива (по данным федерального мониторинга 2001–2009 гг.) // Общество. Среда. Развитие. 2011. № 1. С. 210–214.
5. Куракина Н. И., Шлыгина Н. С. Оценка состояния донных отложений по результатам контрольных измерений концентраций загрязняющих веществ в восточной части Финского залива // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2017. № 4. С. 72–78.
6. Зубарев В. А. Анализ тяжелых металлов донных отложений малых рек, подверженных влиянию сельскохозяйственной мелиорации, на территории Среднеамурской низменности // Известия ТПУ. 2014. № 1. С. 203–208.
7. Косинова И. И., Соколова Т. В. Методологические особенности оценки экологического состояния донных отложений искусственно созданных водных объектов // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2015. № 3. С. 133–121.
8. Касимов Н. С., Пенин Р. Л. Геохимическая оценка состояния ландшафтов речного бассейна по донным отложениям // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Вып. 7. Л., 1991. С. 123–135.
9. The application of preliminary sediments quality criteria to metal contamination in the Le An River / W. Liu, Z. Wang, X. Wen, H. Tang // Environment Pollution. 1999. 105. P. 355–366.
10. Forstner U., Muler G. Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact // GeoJournal. 1981. 5.5. P. 417–432. DOI: 10.1007/BF02484715.
11. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
12. Салихов Ш. К., Баширов Р. Р. Микроэлементы в водах и грунтовых отложениях коллекторно-дренажной системы равнинной провинции Дагестана // Вестник ТГУ. 2013. Т. 18, вып. 4. С. 1368–1372.

References

1. Klenkin A.A., Pavlenko L.F., Korpakova I.G., Temerdashev Z.A., 2007. *Obosnovanie obobshchayushchego pokazatelya kachestva ekologicheskogo sostoyaniya donnykh otlozheniy* [Substantiation of generalizing index of the quality of bottom sediment ecology]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials], no. 8, pp. 11-14. (In Russian).
2. Bazarsky O.V., 2013. *Mekhanizmy obrazovaniya donnykh osadkov v vodoemakh* [Mechanisms of formation of bottom sediments in reservoirs]. *Materialy Vtorogo molodezhnogo innovatsionnogo proekta "Shkola ekologicheskikh perspektiv"* [Proc. of the Second Youth Innovation Project "School of Environmental Perspectives"]. Voronezh, VSU Publ., pp. 9-14. (In Russian).
3. Yanin E.P., Razenkova I.I., Zhuravleva M.G., 1992. *Tekhnogennye ily – potentsi-*

al'nyy istochnik vtorichnogo zagryazneniya rechnykh sistem [Technogenic silts as a potential source of secondary pollution of river systems]. *Geoekologicheskie issledovaniya i okhrana nedr: nauchno-tehnicheskii informatsionnyy sbornik* [Geocological Research and Subsoil Protection: Scientific and Technical Information Coll.]. Moscow, pp. 43-52. (In Russian).

4. Fokin D.P., Frumin G.T., 2011. *Tyazhelye metally v donnykh otlozheniyakh vostochnoy chasti Finskogo zaliva (po dannym federal'nogo monitoringa 2001–2009 gg.)* [Heavy metals in bottom sediments of the eastern part Gulf of Finland (according to federal monitoring data 2001–2009)]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie* [Society. Environment. Development], no. 1, pp. 210-214. (In Russian).

5. Kurakina N.I., Shlygina N.S., 2017. *Otsenka sostoyaniya donnykh otlozheniy po rezul'tatam kontrol'nykh izmereniy kontsentratsiy zagryaznyayushchikh veshchestv v vostochnoy chasti Finskogo zaliva* [Assessment of the condition of bottom sediments by results of control measurements of pollutant concentrations in the eastern part of the Gulf of Finland]. *Izvestiya SPbGETU "LETI"* [Bull. of St. Petersburg Electrotechnical University "LETI"], no. 4, pp. 72-78. (In Russian).

6. Zubarev V.A., 2014. *Analiz tyazhelykh metallov donnykh otlozheniy malykh rek, podverzhennykh vliyaniyu sel'skokhozyaystvennoy melioratsii, na territorii Sredneamurskoy nizmennosti* [Analysis of heavy metals in bottom sediments of small rivers effected by agricultural reclamation on the Middle Amur Lowlands]. *Izvestiya TPU* [Bull. of TPU], no. 1, pp. 203-208. (In Russian).

7. Kosinova I.I., Sokolova T.V., 2015. *Metodologicheskie osobennosti otsenki ekologicheskogo sostoyaniya donnykh otlozheniy iskusstvenno sozdannykh vodnykh ob'ektov* [Methodological features of assessing the ecological state of bottom sediments of artificial water bodies]. *Vestnik VGU. Seriya: Geologiya* [Bull. of VSU. Series: Geology], no. 3, pp. 133-121. (In Russian).

8. Kasimov N.S., Penin R.L., 1991. *Geokhimicheskaya otsenka sostoyaniya landshaftov rechnogo basseyna po donnym otlozheniyam* [Geochemical assessment of the state of landscapes of a river basin based on bottom sediments]. *Monitoring fonovogo zagryazneniya prirodnykh sred* [Monitoring of Background Pollution of Natural Environments]. Leningrad, vol. 7, pp. 123-135. (In Russian).

9. Liu W., Wang Z., Wen X., Tang H., 1999. The application of preliminary sediments quality criteria to metal contamination in the Le An River. *Environment Pollution*, 105, pp. 355-366.

10. Forstner U., Muler G., 1981. Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact. *GeoJournal*, 5.5, pp. 417-432, DOI: 10.1007/BF02484715.

11. Dauvalter V.A., 2012. *Geoekologiya donnykh otlozheniy ozer* [Geoecology of Bottom Sediments of Lakes]. Murmansk, MSTU Publ., 242 p. (In Russian).

12. Salikhov Sh.K., Bashirov R.R., 2013. *Mikroelementy v vodakh i gruntovykh otlozheniyakh kollektorno-drenazhnoy sistemy ravninnoy provintsii Dagestana* [Microelements in waters and bottom sediments of collector-drainage system in plains of Dagestan province]. *Vestnik TGU* [Bulletin of TSU], vol. 18, iss. 4, pp. 1368-1372. (In Russian).

Информация об авторах

Т. И. Дрововозова – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, tid70.drovovozova@yandex.ru, AuthorID: 314686, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>;

Л. А. Булгакова – аспирант, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, syemma08@mail.ru.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 369–377.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2023. Vol. 91, no. 3. P. 369–377.

Information about the authors

T. I. Drovovozova – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, tid70.drovovozova@yandex.ru, AuthorID: 314686, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>;

L. A. Bulgacova – Postgraduate Student, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, syemma08@mail.ru.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 26.10.2023; одобрена после рецензирования 06.12.2023;
принята к публикации 07.12.2023.*

*The article was submitted 26.10.2023; approved after reviewing 06.12.2023; accepted for
publication 07.12.2023.*