

Читать  
онлайн  
Read  
online

Савостикова О.Н., Ушакова О.В., Трегубова Л.Ю.

## Мониторинг химического и биологического состава придонного ила (обзор литературы)

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»  
Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации, 119121, Москва, Россия

Работа посвящена изучению образования донных отложений и ила, их влиянию на состояние водных экосистем, эффективным методам исследования и их практическому применению. Из-за непрерывной антропогенной нагрузки в иле и придонных образованиях постоянно накапливаются тяжёлые металлы, полициклические ароматические углеводороды и другие загрязнители. Они подвергаются различным химическим процессам, в результате которых могут образовываться ещё более токсичные соединения. Накопление этого комплекса загрязняющих веществ становится впоследствии источником вторичного загрязнения, влияя при этом на качество воды в водоёмах, снижая видовое разнообразие водных организмов, и путём миграции и движения по пищевым цепям, негативно воздействуя на состояние растений, животных и людей, в конечном итоге нарушая процессы самоочищения. Ил и донные отложения, таким образом, становятся показателями загрязнения водоёмов. На вторичных отложениях происходит торможение биологических процессов, возникают анаэробные условия, увеличивается кислотность, что способствует постоянному выделению и поступлению в атмосферу вредных газов. Одним из главных последствий этого процесса является парниковый эффект и нарушение теплового баланса.

Одним из способов мониторинга донных отложений является биотестирование. В этом методе в качестве тест-организмов выбирают ракообразных из-за их чувствительности к загрязнению, широкому распространению. Биотестирование может использоваться и как независимый метод оценки состояния водных экосистем, так и в их интегральной оценке. Сейчас в России пока нет системы оценки качества донных отложений, что значительно затрудняет оценку состояния поверхностных водоёмов и прогнозирование негативных процессов. Таким образом, данные о составе поллютантов в иле и донных отложениях неприменимы для экологической характеристики. Поэтому представляется необходимым создать единую методологию и наладить межведомственную коммуникацию специалистов, чтобы в полной мере производить оценку загрязнённости водоёмов и вовремя реагировать на угрожающие уровни.

**Ключевые слова:** придонный ил; загрязнение; химические вещества; биологический состав

**Для цитирования:** Савостикова О.Н., Ушакова О.В., Трегубова Л.Ю. Мониторинг химического и биологического состава придонного ила (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2022; 101(5): 511–514. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-511-514>

**Для корреспонденции:** Ушакова Ольга Владимировна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва. E-mail: OUshakova@cspmrz.ru

**Участие авторов:** Савостикова О.Н. – концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор материала и обработка данных; Ушакова О.В. – концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор материала и обработка данных, редактирование; Трегубова Л.Ю. – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование** осуществлялось в рамках Государственного контракта № 145.001.21.6 на выполнение прикладной научно-исследовательской работы по теме «Разработка унифицированных методов, включающих отбор проб, для осуществления определения микробиологического и паразитологического загрязнения сточных вод» в ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Поступила: 29.03.2022 / Принята к печати: 12.04.2022 / Опубликовано: 31.05.2022

Olga N. Savostikova, Olga V. Ushakova, Lyudmila Yu. Tregubova

## Monitoring of chemical and biological composition of bottom silt (literature review)

Centre for Strategic Planning of FMBA of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation

The work is devoted to the study of the formation of bottom sediments and silt, their impact on the state of aquatic ecosystems, effective research methods and their practical application. Due to the continuous anthropogenic load, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and other pollutants constantly accumulate in the silt and bottom formations. They undergo various chemical processes that can produce compounds that are even more toxic. The accumulation of this complex of pollutants subsequently becomes a source of secondary pollution, affecting the quality of water in reservoirs, reducing the species diversity of aquatic organisms and, through migration and movement along food chains, negatively affecting the condition of plants, animals and people, ultimately violating the processes of self-purification. Silt and bottom sediments thus become indicators of water pollution. On secondary deposits, biological processes are inhibited, anaerobic conditions arise, acidity increases, which contributes to the constant release and entry of harmful gases into the atmosphere. One of the main consequences of this process is the greenhouse effect and the violation of the heat balance. One of the ways to monitor bottom sediments is bio testing. In this method, crustaceans are chosen as test organisms because of their sensitivity to pollution, wide distribution. Bio testing can be used as an independent method for assessing the state of aquatic ecosystems, and in their integral assessment. Now in Russia there is no system for assessing the quality of bottom sediments, which greatly complicates the assessment of the state of surface water bodies and the prediction of negative processes. Thus, data on the composition of pollutants in silt and bottom sediments are not applicable for ecological characterization. Therefore, it seems necessary to create a unified methodology and establish interdepartmental communication of specialists in order to fully assess the pollution of water bodies and respond in time to threatening levels.

**Keywords:** bottom silt; pollution; chemicals; biological composition

**For citation:** Savostikova O.N., Ushakova O.V., Tregubova L.Yu. Monitoring of Chemical and Biological Composition of Bottom Silt. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(5): 511–514. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-511-514> (In Russian)

**For correspondence:** Olga V. Ushakova, MD, PhD, Leading researcher of the Hygiene Department of the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: OUshakova@cspmrz.ru

**Information about the authors:**

Ushakova O.V., <https://orcid.org/0000-0003-2275-9010> Savostikova O.N., <https://orcid.org/0000-0002-7032-1366> Tregubova L.Yu., <https://orcid.org/0000-0003-2762-1192>

**Contribution:** Savostikova O.N. – the concept and design of the study, writing the text, collecting material and processing data. Ushakova O.V. – concept and design of research, text writing, material collection and data processing, editing. Tregubova L.Yu. – concept and design of the study, text writing, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** Under State Contract No. 145.001.21.6 for applied research work “Development of unified methods, including sampling, to determine microbiological and parasitological pollution of waste water” in the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation.

Received: March 29, 2022 / Accepted: April 12, 2022 / Published: May 31, 2022

Ил представляет собой тонкозернистую горную породу мягкой консистенции из смеси минеральных и органических веществ, скапливающихся на дне водоёмов. В естественных условиях ил находится в жидком виде, однако при подсушивании заметно твердеет. Донные отложения – это наносы и твёрдые частицы, образовавшиеся и осевшие в результате внутриводоёмных процессов, в которых участвуют вещества естественного и антропогенного происхождения [1].

Сегодня водные объекты подвержены активной антропогенной нагрузке и становятся источником вторичного загрязнения окружающей среды из-за накопления вредных веществ, что в свою очередь приводит к изменению показателей качества воды. Источниками загрязнения становятся тяжёлые металлы (ТМ), радионуклиды, соединения органического происхождения, такие как пестициды и нефтепродукты, а также сточные и грунтовые воды. Техногенные донные отложения могут вступать в различные химические реакции, а также образовывать более токсичные соединения, чем исходные [2]. В связи с этим целью стало изучение механизмов образования вторичных источников загрязнения водоёмов из донных отложений, обзор эффективных методов исследования состояния ила, перспективы и практика их применения в комплексной оценке.

Основное количество вновь образованных загрязняющих веществ представляет реальную угрозу для различных водных организмов и человека, также эти поллютанты участвуют в экологических кризисах морских экосистем, таких как значительное снижение биоразнообразия, широкое распространение патогенных микроорганизмов, вымирание водных организмов, фекальное колиформное загрязнение [3, 4]. При экологической оценке водных объектов донный ил и донные отложения являются показателем уровня загрязнённости водоёмов. В условиях превышения содержания биогенных элементов в донных отложениях происходит усиление ферментативной активности микроорганизмов, что ведёт к увеличению подвижности восстановленных форм металлов и других токсичных веществ и переносу их в воду. В связи с этим в настоящее время проблема ухудшения экологического состояния водных объектов становится всё более актуальной [5–7].

Способы оценки загрязнённости донных отложений приведены в приказе Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 24.02.2014 г. № 112<sup>1</sup>. К ним относятся следующие:

1. Сравнение концентраций загрязняющих веществ в пробах, отобранных в створах наблюдений и в фоновом створе, при условии тождественности типов донных отложений в абсолютной форме либо в относительной форме в виде коэффициентов загрязнения, факторов загрязнения, представляющих отношение обнаруженной концентрации к фоновой.

2. Сравнение концентраций поллютантов (преимущественно металлов), содержащихся в поверхностном слое толщиной 1 см, и фоновых донных отложениях, которые отобраны в той же точке до периода их определяемого загрязнения на глубине не менее 20 см (частное от деления этих величин представляет собой коэффициент загрязнения).

3. Сравнение кратности отношения абсолютного количества определяемого вещества к средней характерной концентрации каждого определяемого вещества для разных типов донных отложений. От величины кратности (больше или меньше единицы) зависит степень загрязнённости донных отложений в исследуемый период времени. Этот способ применяется при наличии многолетних наблюдений в условиях постоянной антропогенной нагрузки за состоянием донных отложений в конкретном водном объекте, по результатам которых и рассчитывают среднюю характерную концентрацию. Концентрации загрязняющих веществ в пробах донных отложений оценивают с поправкой на размер частиц донных отложений: фракцию размером менее 63 мкм или более 125 мкм анализируют в том случае, когда материал этой фракции составляет хотя бы 30–40% от всей пробы.

Так как донные отложения являются важной частью водных экосистем, они не только становятся источником питательных веществ для микроорганизмов, растений и животных, но и приводят к загрязнению водной пищевой сети [8]. Донные отложения могут накапливать различные минеральные и органические загрязнения в больших концентрациях, нежели в толще воды, что оказывает вредное воздействие на бентосные организмы и организмы, питающиеся бентосом. Загрязнение водной среды наиболее связано с ТМ, в число которых по решению Европейской экономической комиссии ООН включены Co, Cr, Pb, Cd, Hg, Ni, Cu, Zn, Sb, и полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), составляющими одну из самых сложных проблем по причине их токсичности, стойкости и биоаккумуляции [9]. Негативные изменения в озёрных экосистемах можно наблюдать на примере теоретического анализа экологического состояния небольших водоёмов на урбанизированной территории Васильевских озёр, находящихся на северо-восточной окраине г. Тольятти. В частности, увеличение количества ила в водоёмах приводит к их перегрузке мёртвыми растительными остатками и продуктами разложения, наблюдается дефицит кислорода, затрудняется инсоляция толщи воды, замедляется фотосинтез, усиливается гниение, которое сопровождается образованием SO<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub>, восстановлением соединений марганца, железа и других веществ. Сведения о концентрациях элементов и химических соединений во взвешенной и растворённой формах нужны для понимания их влияния на качество воды, установления источников поступления загрязняющих веществ, исследования миграции, определения предполагаемого токсичного действия на гидробионты [10].

Загрязнение водной среды и придонного ила негативно сказывается на состоянии многих живых организмов – планктона и зоопланктона, вызывает гибель рыб и моллюсков, которые обитают у песчаного или слабо заиленного дна и нуждаются в кислороде, уменьшают видовое разнообразие водоёмов, а также приводит к ухудшению естественного самоочищения, поскольку заиление негативно сказывается на жизнедеятельности донных организмов,

<sup>1</sup> Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 24.02.2014 г. № 112 «Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов».

участвующих в этом процессе. В итоге происходит заболачивание водоёма, увеличивается рост макрофитов, и естественная экосистема перестаёт существовать [11]. В озёрах и водохранилищах эти процессы заметнее всего, установлена прямая существенная корреляционная связь между содержанием микроэлементов в донных отложениях и их концентрацией в воде рек. В результате исследования обнаружено, что донные отложения значительно влияют на формирование качества воды водотоков. Это связано с миграцией в воду токсичных элементов [12].

Одним из методов мониторинга донных отложений является биотестирование. Экологическое состояние всей водохранилищной геосистемы, а также отдельных её компонентов (водной массы, биоорганизмов, водной растительности) зависит от ряда природных и антропогенных факторов. В результате загрязнения содержание микроэлементов во всех компонентах геосистемы может значительно изменяться. Большинство загрязнений биохимически активны, не подвержены биоразложению и обладают способностью интенсивно накапливаться в такой комфортной среде, как донные отложения [13]. В отличие от традиционных аналитических методов методы биотестирования делают доступной быструю интегральную оценку загрязнения водных экосистем, включающую влияние всех имеющихся в пробе токсических веществ, и учитывают их синергетическое и антагонистическое взаимодействие [14]. Кроме того, преимущество методов биотестирования заключается в способности живых организмов воспринимать более низкие концентрации веществ, чем любой аналитический датчик. В качестве тест-организмов часто выбираются ракообразные в связи с их широкой распространённостью, большой значимостью в пищевых цепях и высокой чувствительностью к гипоксии и загрязнению.

Амфиподы адекватно отражают состояние седиментов и в последние годы с успехом используются при оценке их токсичности в пресных экосистемах. Выбор амфипод в качестве тест-объектов оправдан их приуроченностью к донным местообитаниям, способностью активно зарываться в ил и потреблять осадочные частицы вместе с пищей [15, 16].

Сравнение тестирований токсичности донных отложений с использованием *G. fasciatus* и других видов амфипод показало и значительное сходство оценок, и различия между ними. В первую очередь это связано с отличающейся чувствительностью видов к различным типам загрязнения. Так, стенотермный обитатель глубин *M. affinis* оказался видом, обладающим устойчивостью к загрязнению ТМ в рамках толерантных температур. Североамериканская амфипода *H. azteca* оказалась в два раза устойчивее к содержанию в воде кадмия, чем *G. fasciatus*. В частности, для *G. fasciatus* CL50 ионов кадмия в течение 48 ч составила 0,01 мг/л, в то время как для *M. affinis* – 12,6 мг/л, для *H. azteca* – 0,02 мг/л. Реакция на загрязнение медью у видов *G. fasciatus* и *H. azteca* сходна. Несмотря на разницу в чувствительности, данные виды реагировали снижением выживаемости в загрязнённых пробах, что указывало на наличие загрязнений на одних и тех же участках в Балтийском море [17].

Данные биотестирования донных отложений одновременно могут быть самостоятельным методом и вносить ценную информацию в оценку состояния водных объектов или их участков.

Исследование донных отложений одновременно трёх водохранилищ (Рыбинского, Ивановского, Угличского) позволило установить ряд закономерностей, которые могут иметь общее значение и для других водоёмов. Идентификация и количественная характеристика состава органических соединений в грунтах водохранилищ в совокупности с микробиологическими данными позволили определить, что избыточное накопление органической массы во вторичных отложениях водохранилища способно привести к торможению биологических процессов. Из-за нарушения обмена между водой и илом возникают анаэробные процессы, понижает-

ся рН. Такие условия приводят к угнетению деятельности микрофлоры и способствуют накоплению органического вещества в составе ила. Большая часть взвешенного вещества, поступающая в водохранилища и образующаяся в них, накапливается на дне водоёмов, формируя при этом вторичные донные отложения [18]. Также в результате физико-химических и биологических процессов на иловых площадках постоянно выделяются газы. Этот процесс не поддаётся контролю. Образующиеся газы непрерывно поступают в атмосферный воздух. Наиболее опасными из них являются сернистые парниковые ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Одним из самых неблагоприятных последствий парникового эффекта считается глобальное потепление. Оно приводит к повышению температуры земной поверхности и необратимым климатическим изменениям. Фильтрат со слоёв донных скоплений при прохождении толщи почвы и отходов обогащается токсичными веществами, ранее находившимися в составе отходов или являющимися продуктами их разложения (ТМ, органические и неорганические соединения). ТМ попадают из почв в растения, далее передаются по пищевым цепям, оказывая при этом токсическое влияние на растения, животных и человека [19].

Важно отметить, что в системе мониторинга поверхностных вод на территории России пока нет критериев оценки качества донных отложений, что делает сложным выявление и прогнозирование процессов, негативно влияющих на состояние водоёмов, а также решение задач по обеспечению государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов. Информация о содержании загрязняющих веществ в донных отложениях представляет собой обширный свод количественных данных, практическое использование которых для диагностики экологического состояния водных объектов представляется крайне затруднительным.

## Заключение

Очевидно, что оценка экологической ситуации на водных объектах должна дополняться оценкой интегральной токсичности с помощью биотестирования. В России этот метод применяется водоохранными организациями различных ведомств при оценке степени токсичности вод и донных отложений. Согласно постановлению Правительства Российской Федерации № 219<sup>2</sup>, наиболее полная оценка состояния поверхностных водных объектов должна осуществляться с применением биотестирования. Для практического применения биотестирования необходимо укрепить межведомственное взаимодействие специалистов и разработать единые методики и методологию. Руководящие принципы и стандарты являются важными инструментами при установлении стандартов качества для защиты здоровья водной среды. Стандарты способны интерпретировать законы и тенденции физических и химических переменных, которые основаны на экспериментальных и научных оценках и имеют большой потенциал для определения допустимого диапазона токсичности и неблагоприятного воздействия на жизнь человека и водные организмы. Стандарты также устанавливают ограничения для биологических, физических и химических переменных в воде и отложениях, что необходимо для безопасного осуществления различных видов деятельности, в том числе сельскохозяйственной, рекреационной, промышленной [20].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что придонный ил является одним из главных источников вторичного загрязнения водных экосистем. Ил необходимо исследовать для последующего определения конкретных путей миграции загрязняющих веществ, поскольку донные отложения вносят

<sup>2</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 10.04.2007 г. № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов».



весомый вклад в формирование качества воды водотоков в связи с миграцией в воду токсичных элементов и различных патогенных микроорганизмов. Под влиянием ряда условий, например, изменения климата, смены времён года, загрязнения сточными водами и отходами предприятий, вероятность загрязнения водоёмов за счёт накопленных в донных отложениях соединений увеличивается, в связи с чем вода

загрязнённых водных объектов может представлять угрозу для здоровья населения. Предотвратить негативные последствия возможно путём очистки водоёма от ила. Усовершенствование технологий очистки дна приобретает особую значимость. Методы очистки должны способствовать снижению антропогенной нагрузки на водотоки и улучшению экологического состояния водных объектов в целом.

## Литература

(п.п. 3, 4, 7, 8, 12, 16, 20 см. References)

- Троунова В.А., Соколовская И.П. Содержание микроэлементов в донных отложениях Новосибирского водохранилища как отражение его экологического состояния. *Ядерные приборы и методы в физических исследованиях*. 2000; 448(1–2): 446–8. [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(00\)00234-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(00)00234-5)
- Решетняк О.С., Закруткин В.Е. Донные отложения как источник вторичного загрязнения речных вод металлами. *Известия науки*. 2016; (4): 102–9.
- Томилина И.И., Комов В.Т. Донные отложения как объект токсикологических исследований (обзор). *Биология внутренних вод*. 2002; (2): 20–6.
- Нахшина Е.П. Тяжелые металлы в системе «вода – донные отложения» водоёмов (обзор). *Гидробиологический журнал*. 1985; 21(2): 80–90.
- Мелехов О.П., Сарапульцева Е.И. *Биологический контроль окружающей среды: Биоиндикация и Биотестирование*. М.: Академия; 2010.
- Лукьянов В.А. *Разработка технологических решений восстановления малых водоёмов на примере Васильевских озёр*. Тольятти; 2016.
- Искандарова Ш.Т., Усманов И.А., Хасанова М.А. Влияние донных отложений на качество воды малых рек. *Экология*. 2019; (3): 19–21.
- Бакаева Е.Н., Никаноров А.М., Игнатова Н.А. Место биотестовых исследований донных отложений в мониторинге водных объектов. *Вестник Южного научного центра РАН. Биология*. 2009; 5(2): 84–93.
- Краммер Д.А. *Оценка антропогенного воздействия на загрязнение донных отложений малых рек на примере г. Москвы*: Автореф. дисс. ... канд. хим. наук. М.; 2015.
- Штамм Е.В., Скурлатов Ю.И., Козлова Н.Б., Зайцева Н.И., Александрова Е.В. Биотестирование в оценке эффективности технологий очистки сточных вод. *Водные ресурсы*. 2011; 38(2): 232–8.
- Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П. *Донные отложения верхневолжских водохранилищ*. Ленинград: Наука; 1975.
- Сучкова О.А. *Разработка эффективного способа утилизации иловых осадков на примере ОАО «Тольяттисинтез»*: Бакалаврская работа. Тольятти; 2016.
- Бакаева Е.Н., Корпакова И.Г. Методологические аспекты биотестирования качества донных отложений морских водных экосистем. В кн.: *VIII съезд Гидробиологического общества РАН: Тезисы докладов*. Том 2. Калининград; 2001: 104–5.

## References

- Trounova V.A., Sokolovskaya I.P. The content of trace elements in the bottom sediments of the Novosibirsk reservoir as a reflection of its ecological state. *Yadernye pribory i metody v fizicheskikh issledovaniyakh*. 2000; 448(1–2): 446–8. [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(00\)00234-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(00)00234-5)
- Reshetnyak O.S., Zakrutkin V.E. Bottom sediments as a source of secondary water pollution by metals (according to the laboratory experiment). *Izvestiya nauki*. 2016; (4): 102–9. (in Russian)
- Sindermann C.J. *Coastal Pollution: Effects on Living Resources and Humans*. CRC Press Taylor Francis Group; 2016.
- Hakanson L., Blenckner T. A review on operational bioindicators for sustainable coastal management – criteria, motives and relationships. *Ocean Coast. Manag.* 2008; 51(1): 43–72. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.04.005>
- Tomilina I.I., Komov V.T. Bottom sediments as an object of toxicological research. *Biologiya vnutrennikh vod*. 2002; (2): 20–6. (in Russian)
- Nakhshina E.P. Heavy metals in the «water – bottom sediments» system of reservoirs (overview). *Gidrobiologicheskij zhurnal*. 1985; 21(2): 80–90. (in Russian)
- Trujillo-Cardenas J.L. Speciation and sources of toxic metals in sediments of Lake Chapala, Mexico. *Journal of the Mexican Chemical Society*. 2010; 54(2): 79–87.
- Tarnawski M., Baran A. Use of chemical indicators and bioassays in bottom sediment ecological risk assessment. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2018; 74(3): 395–407. <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0513-2>
- Melekhov O.P., Sarapul'tseva E.I. *Biological Control of the Environment: Bioindication and Biotesting [Biologicheskij kontrol' okruzhayushchey sredy: Bioindikatsiya i Biotestirovanie]*. Moscow: Akademiya; 2010. (in Russian)
- Lukyanov V.A. *Development of Technological Solutions for the Restoration of Small Reservoirs on the Example of Vasilyevsky Lakes [Razrabotka tekhnologicheskikh resheniy vosstanovleniya malyx vodoemov na primere Vasil'evskikh ozer]*. Tol'yatti; 2016. (in Russian)
- Iskandarova Sh.T., Usmanov I.A., Khasanova M.A. The influence of the bottom sediments on water quality of small rivers. *Ekologiya*. 2019; (3): 19–21. (in Russian)
- Rzetala M., Babicheva V.A., Rzetala M.A. Composition and physico-chemical properties of bottom sediments in the southern part of the Bratsk Reservoir (Russia). *Sci. Rep.* 2019; 9(1): 12790. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49228-4>
- Bakaeva E.N., Nikanorov A.M., Ignatova N.A. The place of biotest researches of bottom sediments in monitoring of waters bodies. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN. Biologiya*. 2009; 5(2): 84–93. (in Russian)
- Kramer D.A. *Assessment of anthropogenic impact on the pollution of these deposits of small rivers on the example of Moscow*: Diss. Moscow; 2015. (in Russian)
- Shtamm E.V., Skurlatov Yu.I., Kozlova N.B., Zaytseva N.I., Aleksandrova E.V. Bioassaying in the assessment of wastewater treatment process efficiency. *Vodnye resursy*. 2011; 38(2): 232–8. (in Russian)
- Berezina N., Strode E., Golubkov S., Balode M. Sediment quality of the Gulf of Finland: bioassay with amphipods. In: *8<sup>th</sup> Baltic Sea Science Congress: Book of Abstracts*. St. Petersburg; 2011.
- Butorin N.V., Ziminova N.A., Kurdin V.P. *Bottom Sediments of the Upper Volga Reservoirs [Donnye otlozheniya verkhnevolskikh vodokhranilishch]*. Leningrad: Nauka; 1975. (in Russian)
- Suchkova O.A. *Development of an effective method for the disposal of sludge on the example of OJSC Togliattisintez*: Bachelor thesis. Tol'yatti; 2016. (in Russian)
- Bakaeva E.N., Korpakova I.G. Methodological aspects of biotesting the quality of bottom sediments of marine aquatic ecosystems. In: *VIII Congress of the Hydrobiological Society of the Russian Academy of Sciences: Abstracts [VIII s'ezd Gidrobiologicheskogo obshchestva RAN: tezisy dokladov]*. Kaliningrad; 2001: 104–5. (in Russian)
- Förstner U., Salomons W. Sediment research, management and policy. *J. Soil. Sediment.* 2010; 10: 1440–52. <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0310-7>