

МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ  
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.87:631.95

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_2\_71

**Биоремедиация донных отложений рек  
как способ повышения плодородия почв****Андрей Анатольевич Коровин<sup>1</sup>, Тамара Георгиевна Зеленская<sup>2</sup>, Елена Евгеньевна Степаненко<sup>3</sup>,  
Светлана Васильевна Окрут<sup>4</sup>, Николай Юрьевич Хасай<sup>5✉</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия<sup>5</sup>nik.khasay.stgau@mail.ru✉

**Аннотация.** Донные отложения рек издревле считались лучшим видом удобрений для повышения урожайности и восстановления плодородия почв. Однако длительное техногенное воздействие привело к деградации поверхностных водных объектов, донные отложения которых стали своеобразным аккумулятором загрязняющих веществ. Извлекаемые во время противопаводковых мероприятий и расчистки русел рек донные отложения не могут быть направлены на восстановление плодородия земель сельскохозяйственного назначения ввиду загрязненности нефтепродуктами и тяжелыми металлами. Высокая стоимость предлагаемых физико-химических методов очистки делает процесс нерентабельным, а плодородие донных отложений после их применения не подлежит восстановлению в течение длительного срока. Исследование показало, что донные отложения средней степной реки Калаус загрязнены азотными, фосфатными соединениями, нефтепродуктами и тяжелыми металлами. Вермикомпостирование позволило спустя 14 суток снизить содержание загрязняющих веществ на 50–55%. Добавление легко перерабатываемых червями органических отходов ускоряет процесс очищения субстрата от загрязнителей. Переработанный грунт может быть использован для выравнивания естественных и искусственных складок рельефа местности (овраги, старые карьеры), что также послужит стабилизации эрозионных процессов, восстановлению качества почв и развитию популяции почвенных беспозвоночных. Вермиремедиация донных отложений отличается эффективностью, низкой себестоимостью, снимает проблему захоронения донных отложений, извлеченных при проведении работ по расчистке русел рек и углублению дна поверхностных водных объектов, превращая токсичные отходы в важный для экологии и сельского хозяйства субстрат. Полученный биогаумус можно направлять на восстановление и повышение плодородия почв.

**Ключевые слова:** донные отложения, биоремедиация, вермиремедиация, черви, плодородие почв

**Для цитирования:** Коровин А.А., Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Окрут С.В., Хасай Н.Ю. Биоремедиация донных отложений рек как способ повышения плодородия почв // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 2(73). С. 71–78. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_2\\_71](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_71).

LAND MELIORATION, RECULTIVATION AND  
LAND CONSERVATION (AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

**Bioremediation of river bottom sediments as a way of increasing soil fertility****Andrey A. Korovin<sup>1</sup>, Tamara G. Zelenskaya<sup>2</sup>, Elena E. Stepanenko<sup>3</sup>,  
Svetlana V. Okrut<sup>4</sup>, Nikolay Yu. Khasay<sup>5✉</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia<sup>5</sup>nik.khasay.stgau@mail.ru✉

**Abstract.** Since ancient times, river bottom sediments have been considered the best type of fertilizer to increase crop yields and restore soil fertility. However, long-term technogenic impact has led to the degradation of surface water bodies, in which river bottom sediments have become a kind of accumulator of pollutants. Sediments removed during flood control measures and river bed clearing cannot be used to restore the fertility of agricultural lands due to contamination with oil products and heavy metals. The high cost of the proposed physical and chemical purification methods makes the process unprofitable, and the fertility of river bottom sediments after their application cannot be restored for a long time. Research showed that river bottom sediments of the middle steppe Kalaus River are contaminated with nitrogen, phosphate compounds, oil products and heavy metals. Vermicomposting made it possible to reduce the content of pollutants by 50-55% after 14 days. The addition of organic waste easily processed by worms speeds up the process of substrate purification from contaminants. The processed soil can be used to level the natural and artificial terrain folds (ravines, old quarries, etc.), which will also serve to stabilize the erosion

processes, restore soil quality and develop the population of soil invertebrates. Vermiremediation of fluvial sediments is effective, has low cost, and eliminates the problem of burying river bottom sediments extracted during river bed clearing and dredging of surface water bodies, turning toxic waste into an important substrate for ecology and agriculture. The resulting biohumus can be used to restore and improve soil fertility.

**Key words:** river bottom sediments, bioremediation, worms, vermiremediation, soil fertility

**For citation:** Korovin A.A., Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Okrut S.V., Khasay N.Yu. Bioremediation of river bottom sediments as a way of increasing soil fertility. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(2):71-78. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_2\\_71-78](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_71-78).

## **В**ведение

Донные отложения рек исторически считались лучшими удобрениями для повышения урожайности и восстановления плодородия почв. Нередко судьба цивилизаций зависела от стабильности гидрологического режима рек и состояния аллювиальных (пойменных) почв, которые обладают более высоким потенциалом плодородия [2, 8, 9, 12]. Однако длительное бесконтрольное использование экологически небезопасных технологий производства, в том числе агрохимикатов, привело к значительному загрязнению поверхностных водных объектов, донных отложений и почв [1, 3, 5, 6, 10]. Из хозяйственного оборота выведены значительные территории, загрязненные нефтепродуктами и тяжелыми металлами [4]. Бесконтрольное применение удобрений и ядохимикатов не только привело к снижению плодородия почвы, но и способствовало угнетению ее естественных восстановительных функций.

Разработанные и используемые для восстановления плодородия почв препараты широкого спектра действия, содержащие микрофлору (микробиологические концентраты серии ЭМ – и эффективные микроорганизмы – Байкал ЭМ-1, Тамир и др.), не получили широкого применения по причине высокой стоимости и недостаточной эффективности. При этом необходимо учесть, что в почве микроорганизмы образуют сложный биоценоз. Одни из них успешно сосуществуют, а другие являются антагонистами, поэтому простое внесение микробиологических препаратов в субстраты не всегда дает ожидаемый результат.

Как показала практика, применяемые физико-химические методы повышения плодородия и очистки почв от загрязнителей весьма дорогостоящи и малоэффективны [7, 13].

В настоящее время контроль за антропогенным воздействием способствует замедлению процессов деградации, но не позволяет надеяться на полное восстановление окружающей среды ввиду значительного кумулятивного воздействия загрязняющих веществ.

Причина сложившейся ситуации заключается в том, что сама природа, ее мощный восстановительный потенциал нередко исключены из технологии возрождения, а именно из круговорота минеральных и органических веществ.

Ставропольский край является одним из высокоразвитых аграрных регионов Российской Федерации, при этом он входит в пятерку наиболее паводкоопасных регионов страны. Для предотвращения подтоплений и наводнений в крае постоянно ведутся работы по очистке русел рек, сопровождающиеся выемкой значительного количества донного грунта – исторически важного элемента для восстановления плодородия почв сельскохозяйственного назначения.

Однако попадающие с дождевыми, талыми и сточными водами удобрения, ядохимикаты, нефтепродукты, отходы производства и потребления приводят к высокой загрязненности вод поверхностных водных объектов и донных отложений.

Вместе с этим широко известные технологии биологической очистки от загрязняющих веществ до настоящего времени не получили широкого практического применения, несмотря на низкую себестоимость и высокую результативность [11, 14, 15, 16, 17].

Продолжается поиск путей интенсификации методов биологической очистки загрязненных субстратов за счет использования комплекса технологий, включающих в себя сочетание агротехнических способов снижения первоначальных концентраций загрязнителей путем окисления, разбавления и т.д., а также добавления почвенных беспозвоночных и органического материала для их подкормки.

Вермиремедиация – это одна из форм биоремедиации, развивающаяся технология, которая использует дождевых червей для восстановления органически и химически загрязненных почв и постепенно привлекает внимание исследователей. Технология вермиремедиации может быть охарактеризована как экологически чистая и эффективная. Дождевые черви являются оптимальным вариантом, т.к. в результате жизнедеятельности обеспечивают аэрацию, разрыхление субстрата, выделяют биологически активные вещества, способствующие эффективной работе микроорганизмов. Данный симбиоз благоприятствует выживанию обоих видов.

Основное внимание ученых направлено на разработку способов биоремедиации загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель. Затем следуют работы по биоремедиации сточных вод и иловых отложений, образующихся в результате деятельности очистных сооружений. Однако мы не увидели работ по теме биоремедиации и возвращению в хозяйственный оборот донных отложений.

**Целью исследования** явилось изучение загрязненности донных отложений средней степной реки Калаус, протекающей по территории Ставропольского края, до и после вермиремедиации, в условиях эксперимента для их возможного применения для повышения плодородия почв сельскохозяйственного назначения.

#### **Материалы и методы исследования**

Было изучено содержание загрязняющих веществ в донных отложениях средней степной реки Калаус, которая протекает по территории Ставропольского края и используется как транзитно-сбросный тракт и источник водоснабжения для нескольких муниципальных образований края. Питание реки смешанное: родниковое, снеговое, дождевое, превышение весеннего половодья над меженью – до 2,6 м. Это самая мутная река в крае и третья по мутности река в России, относится к категории средних степных рек. Общая длина – 436 км, ширина русла – 40–50 м, глубина – до 2,5 м, скорость течения – 1–2 м/с. Среднегодовой расход реки в среднем течении (г. Светлоград) составляет 4,5 м<sup>3</sup> /сек, годовой объем стока при расчетной обеспеченности 75% – 0,089 км<sup>3</sup>, имеет 81 приток с общей протяженностью 936 км, водосборная площадь – 9700 км<sup>2</sup>, ширина долины – 50–100 м. Берега крутые, обрывистые, пораженные гравитационными процессами.

Наблюдения выполнены в 2016–2020 гг. на 3 стационарных гидрохимических створах – в верхнем, среднем и нижнем течении реки (створы 1, 2 и 3).

Исследования донных отложений проводились в соответствии с требованиями по ведению государственного мониторинга (РД 52.24.609-99, РД 52.24.609-2013 «Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях»).

Пробы донных отложений отбирались ежегодно в июле-августе однократно из верхнего слоя без проходки копушей. Для аналитического контроля формировались смешанные из 3–5 точек пробы поперечного профиля из прибрежных зон и центра водотока. Сушка проб, измельчение ссохшегося материала и его просеивание проводились в лабораторных условиях в процессе приготовления вытяжки.

Образцы донных отложений без дополнительной обработки использовались в качестве места жизнедеятельности дождевых червей *E. fedita*. Червь *E. fedita* является аборигеном, холодоустойчив, неприхотлив в питании, хорошо приживается, способен перерабатывать птичий помет, навоз, опад листвы, пищевые отходы. Иные способы биоремедиации донных отложений не применялись.

Методы определения гидрохимических показателей, использованные при выполнении аналитического контроля состояния донных отложений, показаны в таблице 1.

**Таблица 1. Используемые методики для определения химического состава донных отложений**

Компонент	Условия отбора и хранения	Метод (нормативный документ)
Сухой остаток	Без консервации	ПНД Ф 16.2.2.2.3:3.32-02*
Азот аммонийный	Без консервации	ПНД Ф 16.2.2.2.3:3.30-02
Азот нитритный	Без консервации	ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.51-08
Азот нитратный	Без консервации	ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.67-10
Фосфаты	Без консервации	ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.52-08
Нефтепродукты	Без консервации	ФР.1.31.2011.11314**
Марганец	Без консервации	ФР.1.31.2011.10141
Медь	Без консервации	ФР.1.31.2011.10141
Свинец	Без консервации	ФР.1.31.2011.10141
Цинк	Без консервации	ФР.1.31.2011.10141

Примечание: \* – Природоохранные нормативные документы федеративные (ПНД Ф);

\*\* – Федеральный реестр аттестованных методик.

Время проведения исследований составило 2 месяца. Черви содержались при температуре +20...+22 °С в открытых лотках, содержащих 1,5 кг донных отложений, которые увлажняли 2 раза в неделю. Оптимальные условия жизнедеятельности дождевых червей оценивали по скорости закапывания в субстрат.

Для изучения влияния органических отходов спустя 14 дней в часть лотков добавили опад листвы. Для сбора и предварительного измельчения листового опада использовался многофункциональный садовый пылесос-измельчитель марки TERO V100. Каждые 14 дней проводился поштучный подсчет червей.

Химический состав донных отложений во время эксперимента измерялся согласно вышеуказанным методам.

### Результаты и их обсуждение

Данные многолетних наблюдений свидетельствуют, что в донных отложениях р. Калаус в значительном количестве содержатся азотные, фосфатные соединения, нефтепродукты и тяжелые металлы (табл. 2).

**Таблица 2. Концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях р. Калаус, мг/кг**

Год	2016			2017			2018*			2019			2020		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Сухой остаток	1202	2186	2394	2574	8220	4056	1410	2050	1900	1410	1990	1860	1380	1460	2510
Аммоний	33,72	95,98	55,35	139	256	138	112	268	143	89	214	110	28	26	142
Нитраты	4,77	26,38	12,57	2,84	19,8	6,12	3,5	5,9	19,6	4,3	2,42	10	2,9	10,7	23,9
Нитриты	0,63	1,78	0,44	1,10	0,35	0,38	0,35	0,39	0,69	0,7	0,63	0,32	0,2	0,26	0,52
Фосфаты	1,08	3,41	3,34	3,82	4,10	4,81	210	36	61	216	43	49	216	48	52
Нефтепродукты	64,92	127	66,29	67,96	138,8	66,05	44	66	45	42	64	46	47	58	43
Марганец	4,56	4,31	6,37	4,59	4,75	6,88	190	210	138	200	200	120	189	214	128
Медь	40,25	22,18	24,17	42,29	22,7	25,35	1,4	< 1	2,3	1,19	1	2,4	1,14	1,2	2,3
Свинец	9,96	11,16	4,29	8,45	11,79	4,30	8,5	22	16	8,4	21	15	8,5	11,2	15
Цинк	16,45	12,66	2,19	15,88	14,08	2,03	1,8	26,7	5,2	1,8	26,7	5,2	1,7	23,6	5,1

Примечание: \* – с учетом внесенных изменений в методики расчетов (по марганцу и фосфатам).

Как следует из данных, приведенных в таблице 2, наибольшее загрязнение донных отложений отмечено в среднем течении реки.

В верхнем течении реки (створ 1) наблюдались максимумы по фосфатам (216 мг/кг в 2019 и 2020 гг.).

В среднем течении реки (створ 2) зафиксированы максимальные для донных отложений показатели сухого остатка (8220 мг/кг в 2017 г.), аммония (268 мг/кг в 2018 г.), нитратов (26,38 мг/кг в 2016 г.), нитритов (1,78 мг/кг в 2016 г.), свинца (22 мг/кг в 2018 г.), цинка (26,7 мг/кг в 2019 г.) и нефтепродуктов (138,8 мг/кг в 2017 г.).

В нижнем течении реки (створ 3) отмечались высокие показатели по марганцу и фосфатам, но они не достигли значений, зарегистрированных в створах 1 и 2.

Так как содержание загрязняющих веществ в донных отложениях нормативными документами не регламентируется, качественно и количественно оценить выявленные концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях реки Калаус не представляется возможным.

В ходе проведения экспериментов было отмечено, что дождевые черви *E. fetida* продемонстрировали достаточно высокую выживаемость в образцах донных отложений, быстро приспособились к почве, массовой гибели среди особей не наблюдалось на протяжении всего времени эксперимента. Черви активно перерабатывали субстрат. Спустя 14 дней содержание загрязняющих элементов уменьшилось на 50–55% и более (табл. 3).

**Таблица 3. Концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях р. Калаус спустя 14 дней от начала вермиремедиации, мг/кг**

Год	2016			2017			2018*			2019			2020		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Сухой остаток	540,9	1036	1179	1158	3534	1994	713	1011	855	620	915	855	676	701	1204
Аммоний	16,19	47,86	26,57	63,94	125,4	62,1	53,4	125	67,2	45,1	102	48,4	13,2	12,6	69,8
Нитраты	2,01	12,91	5,66	1,42	7,96	3,01	1,39	2,8	9,5	2,1	1,17	4,8	1,6	5,3	11,9
Нитриты	0,33	0,81	0,21	0,56	0,17	0,21	0,16	0,14	0,35	0,28	0,31	0,15	0,1	0,13	0,21
Фосфаты	0,43	1,64	1,69	1,87	1,87	2,31	94,8	18,2	28,6	103	19,8	23	11,5	24	25,4
Нефтепродукты	29,21	58,42	32,48	33,30	67,9	30,36	20,4	29	22,9	21	29,6	21	23	26,6	21
Марганец	2,05	2,18	2,93	2,06	2,35	3,19	89,3	91,5	65,7	97,4	87,7	59,4	92	92,1	62,1
Медь	20,11	9,98	11,12	19,03	5,89	10,62	0,6	< 1	1,01	0,57	0,53	1,1	0,51	0,5	1,1
Свинец	4,86	5,24	2,13	3,38	5,78	2,11	4,1	9,8	6,92	4,0	9,6	7,4	4,2	5,3	6,9
Цинк	7,96	6,14	0,96	6,63	6,92	1,96	0,8	13,2	2,3	0,8	12,4	2,5	0,8	11,2	2,2

Примечание: \* – с учетом внесенных изменений в методики расчетов (по марганцу и фосфатам).

Через 14 дней после добавления опада листвы содержание загрязняющих веществ в опытных лотках было на 30% ниже, чем в контрольных лотках, куда опад листвы не добавлялся.

В контрольной группе добавление органики способствовало более быстрой адаптации червей, росту их количества и размеров. При этом субстрат быстрее приобретал гранулярную форму и приятный запах земли.

### **Выводы**

Проведенные исследования свидетельствуют, что донные отложения р. Калаус загрязнены в значительном количестве азотными, фосфатными соединениями, нефтепродуктами и тяжелыми металлами.

Использование дождевых червей позволяет существенно снизить содержание загрязнителей.

Очищенные донные отложения могут быть использованы для восстановления нарушенной структуры почвы, что позволяет вернуть ее в сельхозоборот или использовать по иному целевому назначению.

Добавление легко перерабатываемых червями органических отходов ускоряет процесс очищения субстрата от загрязнителей.

Переработанный грунт может быть использован для выравнивания естественных и искусственных складок рельефа местности (овраги, старые карьеры), что также послужит стабилизации эрозионных процессов, восстановлению качества почв и развитию популяции почвенных беспозвоночных.

Таким образом, развитие биотехнологий переработки донных отложений, органических отходов червями и постоянными их спутниками в окружающей среде – микроорганизмами в силу доступности, эффективности и низкой себестоимости технологий, а также почти универсальной применимости конечного продукта в земледелии включает в себе потенциал реализации устойчивого развития на качественно новом уровне.

Применение биотехнологии снимает проблему захоронения донных отложений, извлеченных при проведении работ по расчистке русел рек и углублению дна поверхностных водных объектов, превращая нередко токсичные отходы в важный для экологии и сельского хозяйства субстрат.

Развитие и использование современных наукоемких решений делает возможным создание рентабельного предпринимательства, имеющего неограниченный рынок сырья и потребления, что послужит экономическим базисом экологической безопасности и расширенного воспроизводства почвенного плодородия в интересах будущих поколений.

#### Список источников

1. Блинова Е.Г., Чеснокова М.Г. Биотехнологические аспекты анализа донных осадков и гидрохимический режим водотока // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10–1. С. 75–80.
2. Ветчинников А.А., Титова В.И., Баранов А.И. Оценка возможности использования донных отложений пруда для рекультивации техногенно нарушенных почв // Агрехимический вестник. 2018. № 2. С. 50–53.
3. Дударева И.А., Алимова Г.С., Токарева А.Ю. Марганец в воде и донных отложениях нижнего течения реки Иртыш // Успехи современного естествознания. 2017. № 8. С. 70–74.
4. Лифшиц С.Х., Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н. Нефтезагрязнение почв как одно из наиболее распространенных явлений техногенного воздействия на окружающую среду // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования: матер. XI Международной науч.-практ. конф., посвященной Всемирному Дню Земли и 100-летию заповедной системы России (Красноярск, 22 апреля 2016 г.). Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2016. С. 58–60.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. Москва: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.
6. Олива Т.В., Манохина Л.А., Колесниченко Е.Ю. Химико-экологическое качество воды и донных отложений реки Валуй Белгородской области // Успехи современного естествознания. 2020. № 12. С. 145–150.
7. Слюсаревский А.В., Зиннатшина Л.В., Васильева Г.К. Сравнительный эколого-экономический анализ методов рекультивации нефтезагрязненных почв путем биорекультивации *in situ* и механической замены грунта // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 11. С. 40–45.

8. Халел Мохамед Махмуд Набилъ, Шуравилин А.В., Пивень Е.А. Особенности изменения аллювиальных почв в восточной части дельты Нила при антропогенных воздействиях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2013. № 3. С. 37–44.
9. Халел Мохамед Махмуд Набилъ, Шуравилин А.В., Пивень Е.А. Устойчивость почв восточной части дельты Нила к внешним воздействиям // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2013. № 3. С. 11–15.
10. Шевкопляс-Гурьева Н.А., Сивкова Г.А. Применение гербицидов и их влияние на окружающую среду и здоровье человека // Инновационная наука. 2020. № 12. С. 15–16.
11. Adams G.O., Fufeyin P.T., Okoro S.E., Ehinomen I. Bioremediation, biostimulation, and bioaugmentation: A review // International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation. 2015. Vol. 3(1). Pp. 28–39. DOI: 10.12691/ijebb-3-1-5.
12. Baran A., Tarnawski M., Urbaniak M. An assessment of bottom sediment as a source of plant nutrients and an agent for improving soil properties // Environmental Engineering and Management Journal. 2019. Vol. 18(8). Pp. 1647–1656.
13. Chen X., Ma X., Yeung T., Sun D., Xu Zh. Comprehensive treatment of oil-contaminated soils using CO<sub>2</sub>-Responsive O/W microemulsions // Journal of Cleaner Production. 2022. No. 130857. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130857.
14. García-Segura D., Castillo-Murrieta I.M., Martínez-Rabelo F. et al. Macrofauna and mesofauna from soil contaminated by oil extraction // Geoderma. 2018. Vol. 332. Pp. 180–189. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.06.013.
15. Geissen V., Gomez-Rivera P., Lwanga E.H., Mendoza R.B., Narcías A.T., Marcías E.B. Using earthworms to test the efficiency of remediation of oil-polluted soil in tropical Mexico // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2008. Vol. 71(3). Pp. 638–642. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.015.
16. Hussain I., Puschenreiter M., Soja G., et al. Rhizoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils: Improvement opportunities and field applications // Environmental and Experimental Botany. 2018. Vol. 147. Pp. 202–219. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2017.12.016.
17. Rodriguez-Campos J., Dendooven L., Alvarez-Bernal D., et al. Potential of earthworms to accelerate removal of organic contaminants from soil: A review // Applied Soil Ecology. 2014. Vol. 79. Pp. 10–25. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.02.010.

## References

1. Blinova E.G., Chesnokova M.G. Biotekhnologicheskie aspekty analiza donnykh osadkov i gidrokhimicheskij rezhim vodotoka [Biotechnological aspects of analysis of bottom sediment and hydrochemical mode of the water]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanij = International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2019;10(1):75-80. (In Russ.).
2. Vetchinnikov A.A., Titova V.I., Baranov A.I. Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya donnykh otlozhenij pruda dlya rekul'tivatsii tekhnogenno narushennykh pochv [Assessment of opportunity of lake bottom sediments application for recultivation of technogenically disturbed soils]. *Agrokhimicheskij vestnik = Agrochemical Herald*. 2018;2:50-53. (In Russ.).
3. Dudareva I.A., Alimova G.S., Tokareva A.Yu. Marganets v vode i donnykh otlozheniyakh nizhnego techeniya reki Irtysh [Manganese in water and sediments of the lower reaches of the Irtysh river]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*. 2017;8:70-74. (In Russ.).
4. Lifshits S.Kh., Glyatsova Yu.S., Chalaya O.N. Neftezagryaznenie pochv kak odno iz naibolee rasprostranennykh yavlenij tekhnogennoego vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredyu [Oil pollution of soils as one of the most common phenomena of technogenic impact on the environment]. *Geografiya i geoekologiya na sluzhbe nauki i innovatsionnogo obrazovaniya. Materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj Vsemirnomu Dnyu Zemli i 100-letiyu zapovednoj sistemy Rossii (Krasnoyarsk, 22 aprelya 2016 g.)* [Geography and Geoecology in the Service of Science and Innovative Education. Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference dedicated to the World Earth Day and the 100<sup>th</sup> Anniversary of the Protected System of Russia]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Pedagogical University Press; 2016:58-60. (In Russ.).
5. O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federatsii v 2020 godu. Gosudarstvennyj doklad [On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2020. State Report]. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University; 2021. 864 p. (In Russ.).
6. Oliva T.V., Manokhina L.A., Kolesnichenko E.Yu. Khimiko-ekologicheskoe kachestvo vody i donnykh otlozhenij reki Valuj Belgorodskoj oblasti [Chemical and ecological quality of water and bottomset beds of the Valuy river in the Belgorod region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*. 2020;12:145-150. (In Russ.).
7. Slyusarevsky A.V., Zinnatshina L.V., Vasilyeva G.K. Sravnitel'nyj ekologo-ekonomicheskij analiz metodov rekul'tivatsii neftezagryaznennykh pochv putem biorekul'tivatsii *in situ* i mekhanicheskoy zameny grunta [Comparative environmental and economic analysis of methods for the remediation of oil-contaminated soils by *in situ* bioremediation and mechanical soil replacement]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2018;22(11):40-45. (In Russ.).

8. Khalil Mohamed Mahmoud Nabil, Shuravilin A.V., Piven E.A. Osobennosti izmeneniya allyuvial'nykh pochv v vostochnoj chasti del'ty Nila pri antropogennykh vozdeystviyakh [Features of changing of alluvial soils of the east part of the Nile Delta at anthropogenous influences]. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo = Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Industries*. 2013;3:37-44. (In Russ.).
9. Khalil Mohamed Mahmoud Nabil, Shuravilin A.V., Piven E.A. Ustojchivost' pochv vostochnoj chasti del'ty Nila k vneshnim vozdeystviyam [Steadiness of soils of the east part of the Nile Delta to external influences]. *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa = Theoretical and Applied Problems of the Agro-Industry*. 2013;3:11-15. (In Russ.).
10. Shevkopyas-Guryeva N.A., Sivkova G.A. Primenenie gerbitsidov i ikh vliyanie na okruzhayushchuyu sredu i zdorov'e cheloveka [The use of herbicides and their impact on the environment and human health]. *Innovatsionnaya nauka = Innovative Science*. 2020;12:15-16. (In Russ.).
11. Adams G.O., Fufeyin P.T., Okoro S.E., Ehinomen I. Bioremediation, biostimulation, and bioaugmentation: A review. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*. 2015;3(1):28-39. DOI: 10.12691/ijebb-3-1-5.
12. Baran A., Tarnawski M., Urbaniak M. An assessment of bottom sediment as a source of plant nutrients and an agent for improving soil properties. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2019;18(8):1647-1656.
13. Chen X., Ma X., Yeung T. Comprehensive treatment of oil-contaminated soils using CO<sub>2</sub>-Responsive O/W microemulsions. *Journal of Cleaner Production*. 2022. No. 130857. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130857.
14. García-Segura D., Castillo-Murrieta I.M., Martínez-Rabelo F. et al. Macrofauna and mesofauna from soil contaminated by oil extraction. *Geoderma*. 2018;332:180-189. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.06.013.
15. Geissen V., Gomez-Rivera P., Lwanga E.H., Mendoza R.B., Narcias A.T., Marcias E.B. Using earthworms to test the efficiency of remediation of oil-polluted soil in tropical Mexico. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2008;71(3):638-642. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.015.
16. Hussain I., Puschenreiter M., Soja G., et al. Rhizoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils: Improvement opportunities and field applications. *Environmental and Experimental Botany*. 2018;147:202-219. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2017.12.016.
17. Rodriguez-Campos J., Dendooven L., Alvarez-Bernal D., et al. Potential of earthworms to accelerate removal of organic contaminants from soil: A review. *Applied Soil Ecology*. 2014;79:10-25. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.02.010.

#### Информация об авторах

А.А. Коровин – доктор медицинских наук, профессор кафедры экологии и ландшафтного строительства ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», ak53935@rambler.ru.

Т.Г. Зеленская – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, зав. кафедрой экологии и ландшафтного строительства ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», tamara.zelenskaya2016@yandex.ru.

Е.Е. Степаненко – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и ландшафтного строительства ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», elenapstepanenko@yandex.ru.

С.В. Окрут – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и ландшафтного строительства ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», s0kr@yandex.ru.

Н.Ю. Хасай – кандидат экономических наук, доцент кафедры землеустройства и кадастра ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», nik.khasay.stgau@mail.ru.

#### Information about the authors

A.A. Korovin, Doctor of Medical Sciences, Professor, the Dept. of Ecology and Landscape Construction, Stavropol State Agrarian University, ak53935@rambler.ru.

T.G. Zelenskaya, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Head of the Dept. of Ecology and Landscape Construction, Stavropol State Agrarian University, tamara.zelenskaya2016@yandex.ru

E.E. Stepanenko, Candidate of Biological Sciences, Docent, the Dept. of Ecology and Landscape Construction of Stavropol State Agrarian University, elenapstepanenko@yandex.ru.

S.V. Okrut, Candidate of Biological Sciences, Docent, the Dept. of Ecology and Landscape Construction, Stavropol State Agrarian University, s0kr@yandex.ru.

N.Yu. Khasai, Candidate of Economic Sciences, Docent, the Dept. of Land Management and Cadastre, Stavropol State Agrarian University, nik.khasay.stgau@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.03.2022; одобрена после рецензирования 28.04.2022; принята к публикации 12.05.2022.

The article was submitted 16.03.2022; approved after revision 28.04.2022; accepted for publication 12.05.2022.

© Коровин А.А., Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Окрут С.В., Хасай Н.Ю., 2022