

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВОГРУНТОВ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ

ECOLOGICAL MONITORING OF SOILS OF THE COASTLINE OF SMALL WATER BODIES

**O. Ivanchenkova
S. Lukashov**

Summary. This article considers an approach to organizing environmental monitoring of soil pollution of the shorelines of small bodies of water with heavy metals, organic matter and oil products. Theoretical studies were conducted, based on which methods for analyzing organic matter, oil products and heavy metals in soils were selected. A technique for X-ray fluorescence determination of heavy metals in soils is proposed, which allows for prompt monitoring of soil pollution with heavy metals (screening, direct determination). Soils of territories in anthropogenic impact zones were examined: the shoreline of Lake Oktyabrskoye, Bryansk district, Bryansk region; an artificial reservoir in the Priozerny cottage village, Bezhitsky district, Bryansk. Exceeding the MAC of strontium (Sr^{2+}), lead (Pb^{2+}) and copper (Cu^{2+}) content was established. The Total Chemical Pollution Index (Zc) has been calculated, based on the values of which the ecological and forecast assessments of the possibility of using contaminated territories in economic activities have been made taking into account SanPiN 1.2.3685-21, SP 11-102-97 and SanPiN 2.1.3684-21. Based on the conducted studies, it can be concluded that the ecological state of the soil grounds of the shorelines of Lake Oktyabrskoye and the artificial reservoir on the territory of the Priozerny cottage village is satisfactory. The considered approach to the chemical and ecological analysis of the pollution of the soil grounds of the shorelines of small reservoirs with heavy metals and organic substances can be used as a basis for environmental monitoring and a program of engineering and ecological surveys in the development of revitalization measures for small reservoirs.

Keywords: environmental monitoring, lead, copper, small water bodies, heavy metals, petroleum products, organic matter, soils.

Иванченкова Оксана Андреевна

К.с.-х.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский государственный инженерно-технологический университет, Брянск
oa-iva79@mail.ru

Лукашов Сергей Викторович

К.х.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский государственный университет им. акад. И. Г. Петровского, Брянск
sergelukashov@yandex.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрен подход к организации экологического мониторинга загрязнения почвогрунтов береговой линии малых водоемов тяжелыми металлами, органическими веществами и нефтепродуктами. Проведены теоретические исследования, на основании которых выбраны методы анализа органических веществ, нефтепродуктов и тяжелых металлов в почвогрунтах. Предложена методика рентгенофлуоресцентного определения тяжелых металлов в почвогрунтах, которая позволяет осуществлять оперативный контроль загрязнения почв тяжелыми металлами (скрининг, прямое определение). Обследованы почвогрунты территорий в зонах антропогенного воздействия: береговой линии озера Октябрьское Брянского района Брянской области; искусственного водоема на территории коттеджного поселка Приозерный, Бежицкого района города Брянск. Установлено превышение ПДК содержания стронция (Sr^{2+}), свинца (Pb^{2+}) и меди (Cu^{2+}). Рассчитан Суммарный показатель химического загрязнения (Zc), на основании значений которого выполнены экологическая и прогнозная оценки возможности использования загрязненных территорий в хозяйственной деятельности с учетом СанПиН 1.2.3685-21, СП 11-102-97 и СанПиН 2.1.3684-21. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что экологическое состояние почвогрунтов береговых линий озера Октябрьское и искусственного водоема на территории коттеджного поселка Приозерный является удовлетворительным. Рассмотренный подход химико-экологического анализа загрязнения почвогрунтов береговой линии малых водоемов тяжелыми металлами и органическими веществами может быть положен в основу экологического мониторинга и программу инженерно-экологических изысканий при разработке мероприятий revitalization малых водоемов.

Ключевые слова: экологический мониторинг, свинец, медь, малые водоемы, тяжелые металлы, нефтепродукты, органические вещества, почвогрунты.

Введение

В настоящее время отмечается активное обсуждение вопросов, связанных с экологическим состоянием малых водоемов. При этом особое внимание уделяется проблемам загрязнения почвогрунтов береговой линии малых водоемов [1].

Расположение малых водоемов в зонах антропогенного воздействия придает особую значимость их изучению. В таких узкоспециализированных экосистемах, как береговые линии малых водоемов, каждый фактор,

включая состав почвогрунтов, влияет на динамику и разнообразие животного и растительного мира. Поэтому детальное исследование и анализ химического состава почвогрунтов позволяет понять причины возникновения экологических проблем и предоставляет данные для их преодоления и предотвращения [2].

Важную роль в исследовании почвогрунтов береговой линии играет определение содержания различных химических элементов и веществ, входящих в их состав, в частности тяжелых металлов, органических веществ и нефтепродуктов, которые попадают в среду из антропо-

погенных источников. Оценка наличия и концентрации данных компонентов в почвогрунтах предоставляет информацию о степени их загрязненности, а также позволяет выявить источники загрязнения и спрогнозировать потенциальные риски для окружающей среды и здоровья человека. Данная информация является важной для планирования и проведения мероприятий по восстановлению и охране береговых территорий малых водоемов [3,4].

Таким образом, исследование химического состава почвогрунтов береговой линии малых водоемов является важной и актуальной проблемой, требующей серьезного внимания. Оценка степени загрязненности позволит разработать эффективные стратегии по решению экологических проблем и обеспечению сохранения природных ресурсов.

Цель исследования

Количественное определение тяжелых металлов, органических веществ и нефтепродуктов, входящих в состав почвогрунтов береговой линии малых водоемов с целью определения степени их загрязненности и прогнозной оценки использования в хозяйственной деятельности.

Материал и методы исследования

В качестве объектов исследования нами были выбраны почвогрунты береговой линии малого водоема — озера Октябрьское Брянского района Брянской области (рис. 1); почвогрунты береговой линии искусственного водоема на территории коттеджного поселка Приозерный, Бежицкого района города Брянск (рис. 2).

Озеро Октябрьское расположено не далеко от одноименного населенного пункта Брянского района Брянской области. Водоем является проточным, по гребню плотины проходит автомобильная дорога, имеющая асфальтовое покрытие. Запорная арматура расположена в нижнем бьефе плотины. Площадь водного зеркала составляет — 18485 метров квадратных. С 2015 г. наблюдается постепенное обмеление данного водоема.

Искусственный водоем, расположен на территории коттеджного поселка Приозерный, Бежицкого района города Брянск. Представляет собой проточный пруд, в него впадает небольшой ручей, протекающий по территории городского леса Заставище, далее впадающий в озеро Барсучья Грива. С западной стороны от исследуемого объекта расположен заросший прибрежно-водной растительностью водоем.

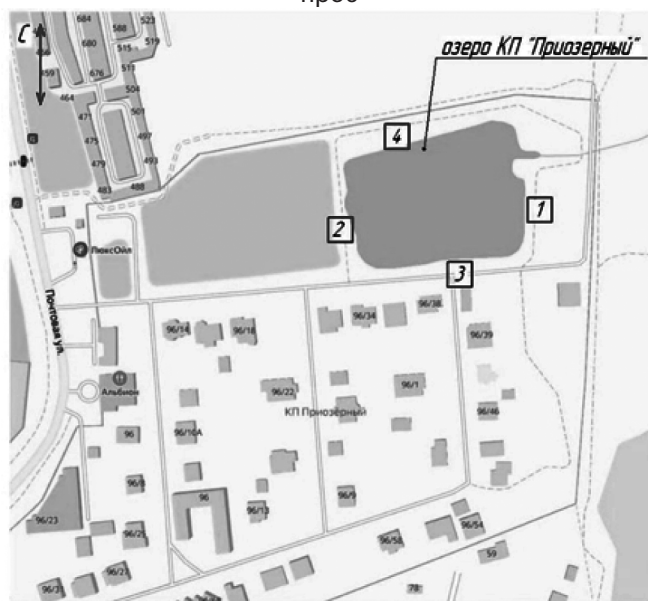
При отборе проб почвогрунтов руководствовались ГОСТ 12071-2014.



Условные обозначения



Рис. 1. Карта-схема расположения озера Октябрьского Брянского района Брянской области и точек отбора проб



Условные обозначения



Рис. 2. Карта-схема расположения озера в коттеджном поселке Приозерный и точек отбора проб

В работе использовали реактивы квалификации о.с.ч. или х.ч. Для приготовления растворов использовали бидистиллированную воду. Применяли растворы

ГСО № 7255-96 Cu (II), № 7252-96 Pb (II), № 7472-98 Cd (II), № 7256-96 Zn (II), содержащие 1 г/дм³ ионов металлов.

Количественное определение тяжелых металлов в составе почвогрунта проводили с помощью, предложенной нами методики, основанной на рентгенофлуоресцентном анализе.

Концентрации свинца и меди в почвогрунтах устанавливали методом инверсионной вольтамперометрии на полярографе АВС — 1.1 в соответствии с оптимизированной нами методикой [5].

Содержание органических веществ в почвогрунтах определяли зольным методом [6].

Определение массовой доли нефтепродуктов в образцах почвогрунта проводили флуориметрическим методом [7].

Учитывая рекреационное назначение исследуемых водных объектов, для оценки значений полученных данных с нормированными показателями загрязняющих веществ использовали СанПиНом 1.2.3685-21.

Прогнозную оценку возможности использования загрязненных территорий в хозяйственной деятельности выполняли с учетом СП 11-102-97.

Обработку полученных результатов выполняли с использованием Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Пробы почвогрунта отбирали в местах, указанных на рис. 1–2. Пробы гомогенизировались и усреднялись. Количественное определение свинца, меди, цинка и кадмия в образцах почвогрунта проводили методом инверсионной вольтамперометрии.

Таблица 1.

Зависимость интенсивности характеристической линии Са от массы добавки СаСО₃ в пробе №1, о. Октябрьское

Проба	т добавки СаСО ₃	I Са
Проба почвогрунта без добавки	0	0,86
Проба почвогрунта (1-я добавка)	0,20	1,2
Проба почвогрунта (2-я добавка)	0,40	2,0

Таблица 2.

Содержание металлов в образцах почвогрунта (проба №1), определенное рентгенофлуоресцентным методом

Металл	Исходное соотношение металлов в пробе, %	Масса металла, содержащегося в пробе m=1 г, г	Концентрация металла в пробе, %
Sr	0,7210	0,003200	0,32
Fe	8,237	0,03600	3,60
Ca	10,42	0,04600	4,60

Для определения стронция, кальция и железа нами предложена методика рентгенофлуоресцентного анализа. Предлагаемая методика заключается в получении спектров пробы почвогрунта массой 1 г с последовательными добавками карбоната кальция и последующем пересчете содержания элементов в исследуемой пробе в зависимости от интенсивности характеристической линии кальция. Пример определения тяжелых металлов методом рентгенофлуоресцентного анализа представлен в табл. 1 и 2 на рисунках 3–6.

Результаты определения тяжелых металлов в образцах почвогрунта береговой линии озера Октябрьское

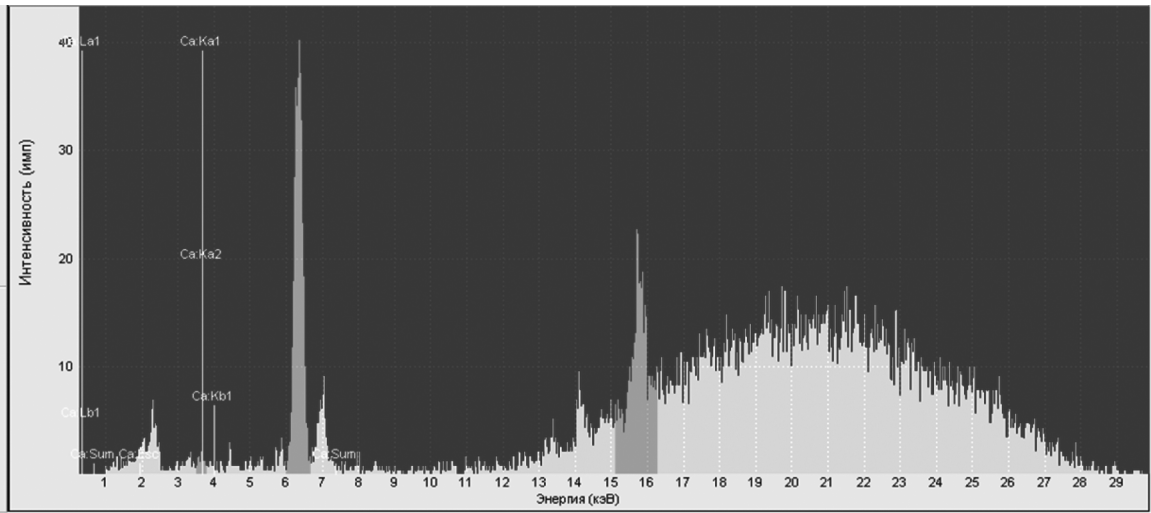


Рис. 3. Спектры пробы №1, о. Октябрьское, без добавок (стронций — 7,21 %; железо — 8,237 %; кальций — 10,42 %)

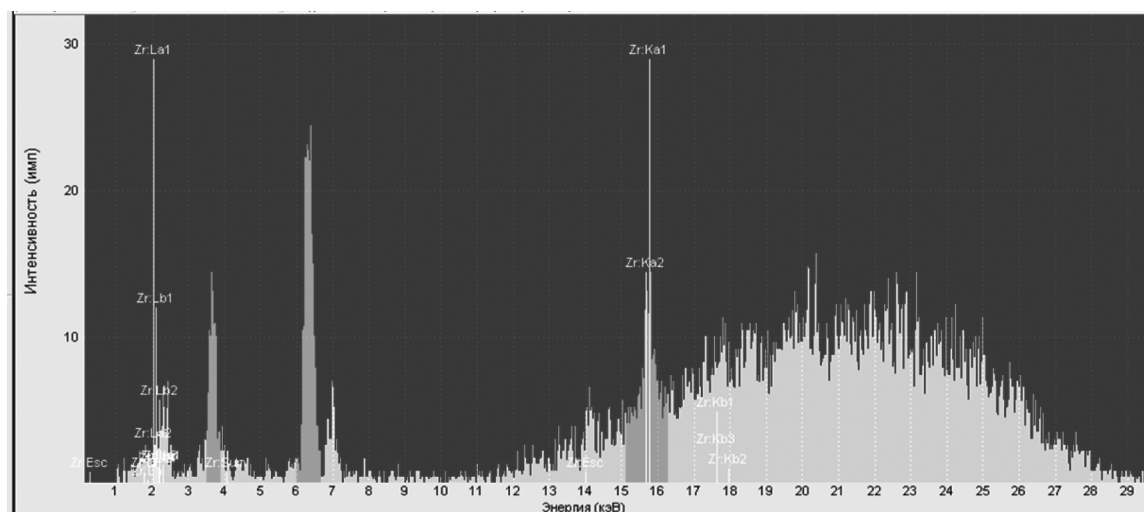


Рис. 4. Спектры пробы №1, о. Октябрьское, после 1 добавки (0,2 г) CaCO_3 (стронций — 2,82 %; железо — 3,748 %; кальций — 59,70 %)

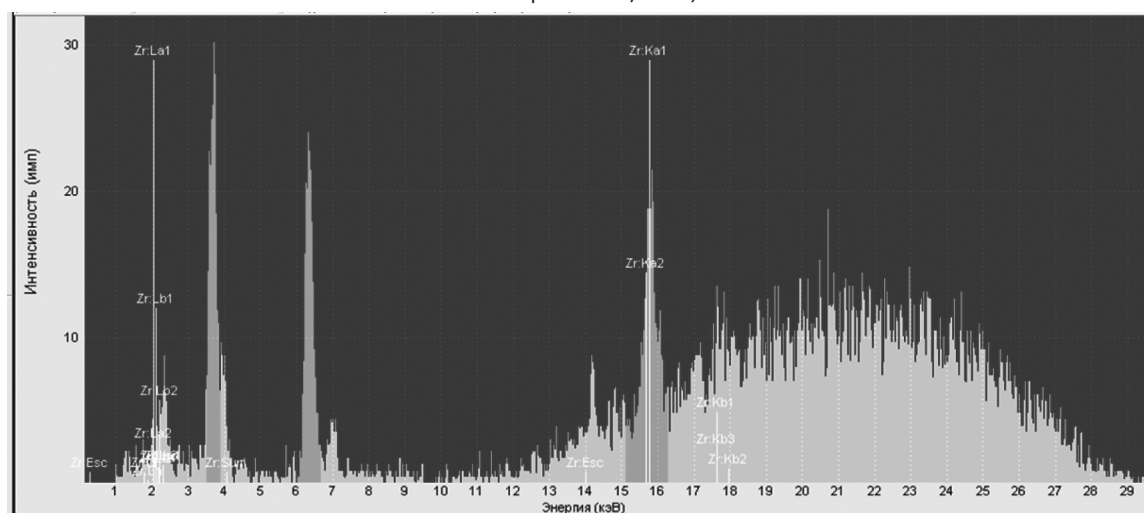


Рис. 5. Спектры пробы №1, о. Октябрьское после 2 добавки (0,2 г) CaCO_3 (стронций — 1,75 %; железо — 2,463 %; кальций - 73,62 %)

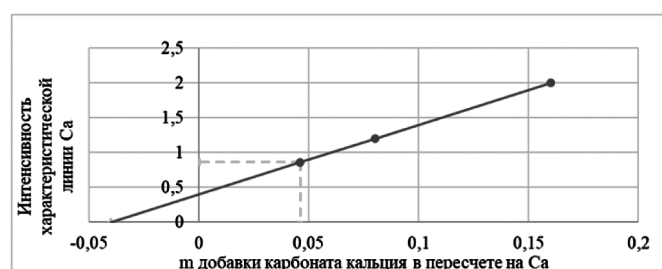


Рис. 6. Зависимость интенсивности характеристической линии Ca от массы добавки CaCO_3 (в пересчете на кальций) в пробе №1, о. Октябрьское

и п. Приозерный (среднегодовые значения объединенной пробы за 2022 и 2023 гг.) представлены в табл. 3.

Анализ проб почвогрунтов береговой линии о. Октябрьское показал превышение ПДК по пяти химическим элементам: железу, кальцию, свинцу, меди и строн-

цию в пробах, отобранных в 2022 и 2023 гг. Превышение железа в пробах в 1,1 раза выше фона, кальция — в 1,5 раза, свинца — в 1,1 раза, меди — в 1,2 раза и стронция — в 16 раз. Превышение содержания цинка и кадмия в отобранных пробах не наблюдалось.

Анализ проб почвогрунтов береговой линии о. п. Приозерный показал превышение ПДК по трем химическим элементам: железу, кальцию и стронцию что в пробах за указанные периоды. Самый высокий уровень превышения ПДК наблюдался у стронция — в 10,65 раза. Превышение железа в 1,18 раза выше фона, кальция — в 1,29 раза. Содержание остальных элементов (свинца, меди, цинка и кадмия) не превышало фона.

Для оценки степени загрязненности почвогрунтов тяжелыми металлами использовали суммарный показатель химического загрязнения (Zc), который определяется суммой коэффициентов концентрации отдельных компонентов загрязнения по формуле:

Таблица 3.

Среднегодовые значения концентраций тяжелых металлов в почвогрунтах о. Октябрьское и о. п. Приозерный.

Металл	Концентрация металла в пробе, мг/кг, 2022 г.	Концентрация металла в пробе мг/кг, 2023 г.	ПДК/ОДК, мг/кг, кларк, мг/кг	Класс опасности
о. Октябрьское				
Sr	3235,00	3151,00	кларк 200	–
Fe	41755,00	41655,00	/38000	–
Ca	47000,00	45000,00	кларк 32500	–
Zn	95,00	98,00	/110	1
Pb	69,02	68,01	/65	1
Cd	0,12	0,12	/2	1
Cu	67,30	68,40	/66	2
о. п. Приозерный				
Sr	2139,00	2129,00	кларк 200	–
Fe	44794,00	44685,00	/38000	–
Ca	42135,00	41097,00	кларк 32500	–
Zn	35,00	34,00	/110	1
Pb	62,02	61,04	/65	1
Cd	0,11	0,11	/2	1
Cu	44,60	42,40	/66	2

$$Zc = \Sigma(Kc_i + \dots + Kcn) - n - 1 \tag{1}$$

где *n* — количество определяемых компонентов,
Kc_i — коэффициент концентрации *i*-го загрязняюще-го компонента, равный кратности превышения содержа-ния данного компонента над фоновым значением.

Коэффициент концентрации для загрязняющих ве-ществ неприродного происхождения равен частному от деления массовой доли загрязнителя на его ПДК.

Рассчитанные значения (*Zc*) представлены в табл. 4.
Таблица 4.

Суммарный показатель химического загрязнения почвогрунтов (*Zc*) о. Октябрьское и о. п. Приозерный за 2022 и 2023 гг.

Водоем	о. Октябрьское		о. п. Приозерный	
Год	2022	2023	2022	2023
(<i>Zc</i>)	15,73	15,29	9,17	9,09

Для оценки экологического состояния почвогрунтов, загрязненных тяжелыми металлами, по значению сум-

марного загрязнения использовали СанПиНом 2.1.3684-21, в соответствии с которым экологическое состояние почвогрунтов обследованных территорий считают удовлетворительным, если суммарный показатель хи-мического загрязнения не превышает 16. На основе по-лученных данных можно сделать следующий вывод: эко-логическое состояние почвогрунтов береговой линии о. Октябрьское и о. п. Приозерный можно считать относи-тельно удовлетворительным, так как суммарный показа-тель химического загрязнения не превышает норму.

Среднегодовые результаты определения органиче-ских веществ в образцах почвогрунта береговых линий о. Октябрьское и о. п. Приозерный за 2022 и 2023 гг. представлены на рис. 7–8.

Согласно полученным данным, представленных на рис. 7 и 8, можно отметить снижение содержания ор-ганических веществ в почвогрунтах береговой линии о. Октябрьское в 2023 году по сравнению с 2022 годом (исключением является проба 2). Данная тенденция прослеживается и в содержании органических веществ в почвогрунтах береговой линии о. п. Приозерный.

Снижение уровня органики в почвогрунтах связа-но с уменьшением площадей обрабатываемых земель

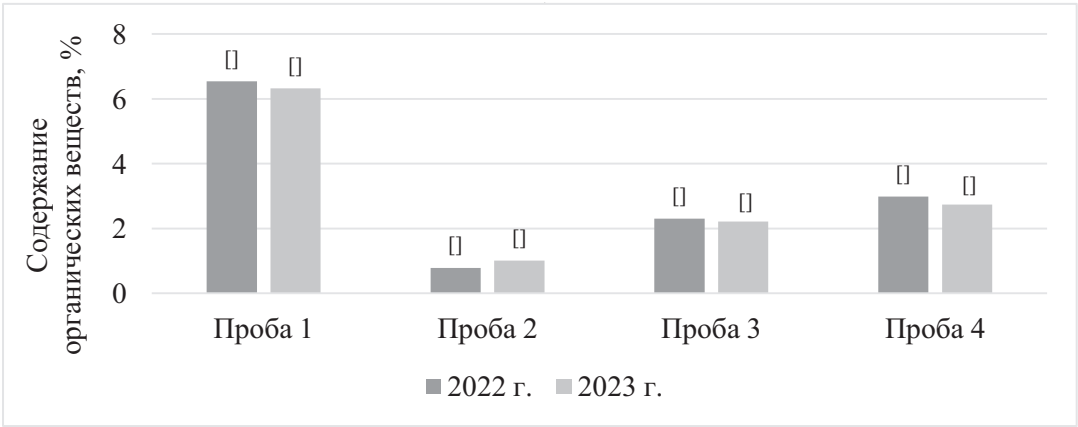


Рис. 7. Среднегодовые результаты содержания органических веществ в образцах почвогрунта береговой линии о. Октябрьское

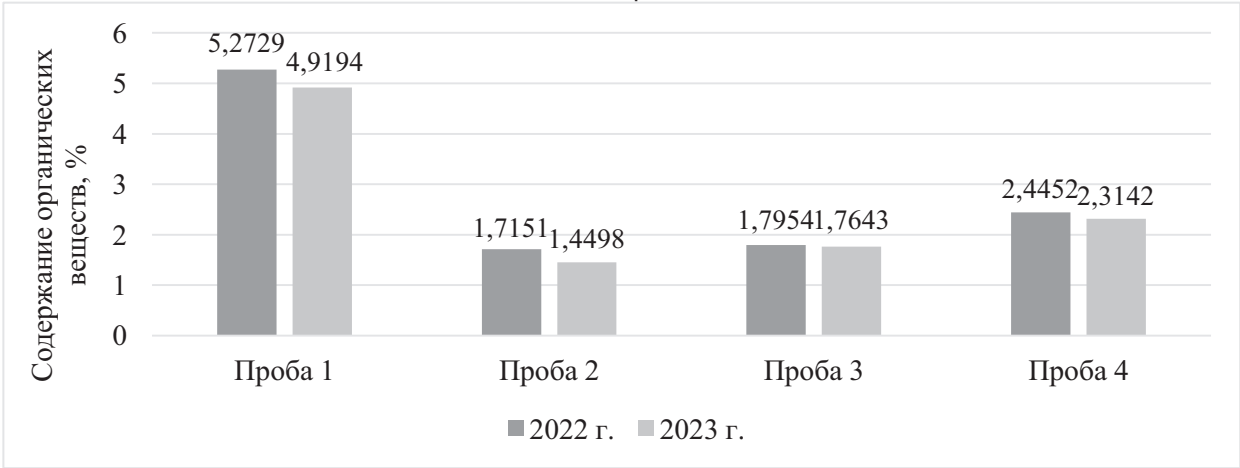


Рис. 8. Среднегодовые результаты содержания органических веществ в образцах почвогрунта береговой линии о. п. Приозерный

вдоль береговой линии о. Октябрьское, а также с частичной застройкой прилегающих территорий к о. п. Приозерный, где устанавливаются системы водоотведения.

В данной работе определялось суммарное остаточное содержание нефтепродуктов в почвогрунтах. В процессе анализа литературных данных нами установлена невозможность определения вклада отдельной взятой группы, марки или сорта нефтепродуктов в загрязнение образцов почвогрунта. Из этого следует, что наиболее целесообразно в основу определения включить только тип нефтепродуктов. Однако, он включает большое количество нефтепродуктов, которые являются потенциальными загрязнителями почв, поэтому целесообразно определять суммарное содержание нефтепродуктов в образцах почвогрунта [8].

Данные по определению суммарного содержания нефтепродуктов и их распределение по образцам проб озера Октябрьское представлены в табл. 5.

Таблица 5.
Суммарное содержание нефтепродуктов в среднегодовых пробах почвогрунта о. Октябрьское и о. п. Приозерный

№ пробы	Содержание нефтепродуктов, мг/кг о. п. Приозерный	№ пробы	Содержание нефтепродуктов, мг/кг, о. Октябрьское
Год	2022		
1	9,1	1	31,8
2	8,2	2	33,4
3	7,5	3	32,8
4	23,9	4	35,3
Год	2023		
1	11,4	1	29,1
2	14,8	2	31,2
3	8,7	3	34,4
4	26,2	4	36,1

В России суммарные предельно допустимые концентрации для нефтепродуктов официально пока еще не определены, в связи с чем мы предлагаем использовать градацию, разработанную Ю.И. Пиковским [9] (табл. 6).

Таблица 6.

Данные по нормированию нефтепродуктов в почвах по Пиковскому

Уровень загрязнения	Концентрация нефтепродуктов, мг/кг
Повышенный фон	100–500
Умеренное (низкое)	500–1000
Умеренно опасное (высокое)	1000–2000
Сильное (опасное)	2000–5000
Очень сильное	свыше 5000

Таким образом, загрязнение почвогрунтов о. Октябрьское и о. п. Приозерный не превышает фоновых значений.

На основании полученных данных, в соответствии с СП 11-102-97, обследуемые территории могут быть использованы для реализации проектных решений в области их благоустройства и эксплуатации в рекреационных целях.

Выводы

На основе анализа литературных данных был обоснован подход к организации экологического мониторинга почвогрунтов береговой линии малых водоемов, включающий определение тяжелых металлов, органических веществ и нефтепродуктов.

Предложена методика количественного определения тяжелых металлов в образцах почвогрунта, в ос-

нове которой лежит метод рентгенофлуоресцентного анализа.

Анализ почвогрунтов о. Октябрьское на тяжелые металлы выявил превышение установленных значений по Sr (кларк превышен в 15 раз), Pb (ПДК превышено в 1,1 раза), Cu (ПДК превышено в 1,03 раза), Fe (ОДК превышено в 1,1 раза). По о. п. Приозерный отмечается только превышение Sr (кларк превышен в 10 раз) и Fe (ОДК превышено в 1,1 раза).

Установлена тенденция снижения содержания органических веществ в почвогрунтах береговой линии о. Октябрьское и о. п. Приозерный, что связано с уменьшением площади обрабатываемых земель в окрестностях береговых линий, а также с частичной застройкой прилегающих территорий и установкой систем водоотведения.

Исследование почвогрунтов о. Октябрьское и о. п. Приозерный на суммарное содержание нефтепродуктов показало, что показатели не превышают фоновых значений.

Экологическое состояние почвогрунтов береговой линии о. Октябрьское и о. п. Приозерный можно считать относительно удовлетворительным, так как суммарный показатель химического загрязнения не превышает норму. Также наблюдается улучшение показателей суммарного индекса химического загрязнения почвогрунтов в 2023 г. по сравнению с 2022 г.

Рассмотренный подход химико-экологического анализа загрязнения почвогрунтов береговой линии малых водоемов тяжелыми металлами и органическими веществами может быть положен в основу экологического мониторинга и программу инженерно-экологических изысканий при разработке мероприятий ревитализации малых водоемов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф., Жадко С.В. Накопление тяжелых металлов прибрежно-водной растительностью водоемов вблизи г. Жлобина Гомельской области республики Беларусь // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. №5. С. 124–132.
2. Тушина А.С. Геоэкологическая оценка малых водоемов города Новосибирска. Кандидатская диссертация. Специальность 25.00.36. Барнаул 2021. 251 С.
3. Лебедев С.В., Агафонова Е.К. Эколого-геохимическая оценка загрязнения окружающей среды по данным мониторинга содержания тяжелых металлов в почвогрунтах и снежном покрове (на примере Василеостровского района Санкт-Петербурга) // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2017. Т. 62. Вып. 4. С. 357–369.
4. Кочетова, Ж.Ю. Сравнительный анализ интегральных показателей загрязнения почвогрунтов урбанизированных территорий приоритетными загрязнителями / Ж.Ю. Кочетова, О.В. Базарский, Н.В. Маслова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2018. — № 1(125). — С. 28–37. — DOI 10.26730/1999-4125-2018-1-28-36. — EDN XOUGZN.
5. Дедкова, Д.А. Оптимизация параметров инверсионно — вольтамперометрического определения тяжелых металлов в водных растворах / Д.А. Дедкова, С.В. Лукашов // Химия и физика — XXI век. Теория, практика, образование: Сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Брянск, 18–19 мая 2022 года / Под редакцией Н.А. Титова. — Брянск: Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, 2022. — С. 41–47.
6. ГОСТ 27784-88. Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв: государственный стандарт союза ССР: дата введения 1989-01-01 / Государственного комитета СССР по стандартам. — Изд. официальное. — Москва: Стандартинформ. 1988.
7. ПНД Ф 16.1:2.21-98 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02». М.: 1998.
8. Лукашов С.В., Надточей Е.П., Иванченкова О.А. Определение остаточных количеств нефтепродуктов и водорастворимых минеральных загрязнителей в почвогрунтах урбанизированных территорий // Успехи современного естествознания. — 2021. — № 3. — С. 65–71; URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37595> (дата обращения: 01.04.2023).
9. Пиковский Ю.И., Коротков Л.А., Смирнова М.А., Ковач Р.Г. Лабораторно-аналитические методы при определении углеводородного состояния почв (обзор) // Почвоведение. 2017. №10. С. 1165–1178.

© Иванченкова Оксана Андреевна (oa-iva79@mail.ru); Лукашов Сергей Викторович (sergelukashov@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»