

Дата поступления рукописи в редакцию: 27.05.2026 г.
Дата принятия рукописи в печать: 29.06.2026 г.

DOI: 10.24412/2076-1503-2026-6-440-444

ЛИСАЧЕНКО Олег Васильевич,
доцент кафедры «Гуманитарные науки»,
институт химических технологий и инжиниринга
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной университет»,
Стерлитамак, Россия,
e-mail: mail@law-books.ru

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ВОКРУГ ЗЕМЛЯНОГО ХРАНИЛИЩА НЕФТЕШЛАМОВ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОМЕТРИИ

Аннотация. Важное значение в экологической безопасности территорий вокруг нефтехимических предприятий имеет оценка степени загрязнения почв нефтепродуктами вокруг земляного хранилища застарелых нефтешламов. В статье рассматривается состояние почв с использованием метода ИК-спектроскопии в южной промзоне Республики Башкортостан.

Ключевые слова: нефтешламы, земляное хранилище, загрязнение почв, нефтепродукты, ИК-спектроскопия, глиняная изоляция, мониторинг, Республика Башкортостан.

LISACHENKO Oleg Vasilievich,
Associate Professor, Department of Humanities,
Institute of Chemical Technology and Engineering,
Ufa State Petroleum University,
Sterlitamak, Russia

ASSESSMENT OF SOIL CONDITION AROUND AN EARTH-BASED OIL SLUDGE STORAGE FACILITY USING IR SPECTROMETRY

Annotation. Assessing the degree of soil contamination with petroleum products around an underground storage facility for old oil sludge is crucial for the environmental safety of areas around petrochemical plants. This article examines soil conditions using IR spectrometry in the southern industrial zone of the Republic of Bashkortostan.

Key words: oil sludge, underground storage facility, soil contamination, petroleum products, IR spectrometry, clay insulation, monitoring, Republic of Bashkortostan.

Методы. Отбор проб почвы проводили на пяти различных расстояниях от зеркала амбара (0,5 м; 1,5 м; 3 м; 4 м; 5 м) на глубине 20 см. Содержание нефтепродуктов определяли методом ИК-спектроскопии на анализаторе КН-2М по аттестованной методике ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Каждая проба анализировалась в трёх повторностях с последующей статистической обработкой.

Результаты. Выявлена значительная пространственная неоднородность загрязнения. Максимальное содержание нефтепродуктов зафиксировано на расстоянии 4 м от зеркала амбара — 9806,8 мг/кг, а также на внутренней стороне дамбы — 5864,0 мг/кг. Минимальные значения обнаружены на внешней стороне дамбы (362,1 мг/кг) и на вершине дамбы (810,0 мг/кг). Установлено, что уровень загрязнения определяется не только рас-

стоянием до хранилища, но и рельефом местности: пониженные участки аккумулируют мигрирующие нефтепродукты.

Научная новизна. Впервые для данного региона выполнена количественная оценка загрязнения почв вокруг длительно эксплуатируемого (около 80 лет) земляного хранилища нефтешламов с глиняной изоляцией. Показано, что простая глиняная изоляция не обеспечивает полной герметичности, а загрязнение имеет очаговый характер, контролируемый микрорельефом.

Практическая значимость. Полученные данные могут быть использованы при планировании рекультивационных работ на аналогичных объектах, а также для обоснования необходимости постоянного мониторинга почв вокруг выведенных из эксплуатации, но не рекультивированных нефтешламовых амбаров.

Введение

Работа нефтепромышленного комплекса сопровождается образованием значительных объёмов углеводородсодержащих отходов — нефтешламов. Для их размещения создаются специальные объекты: земляные амбары, шламо-накопители, илонакопители. По мере ввода в эксплуатацию современных резервуарных парков с высоким уровнем инженерной защиты окружающей среды старые хранилища выводятся из эксплуатации, однако продолжают оставаться источниками комплексного загрязнения всех компонентов экосистем [1; 2].

Особую опасность представляют так называемые «застарелые» хранилища, эксплуатировавшиеся десятилетиями без должного контроля герметичности. Даже после прекращения приёма новых отходов в таких амбарах сохраняются значительные объёмы нефтешламов, а защитные сооружения (глиняные замки, дамбы) со временем разрушаются, что приводит к утечкам и миграции загрязнителей в окружающую среду [3–5].

Экологическая рекультивация нефтешламовых амбаров подразумевает полное извлечение отходов, восстановление нарушенных земель и возврат ландшафта в первоначальное состояние [6]. Однако на практике многие старые объекты годами остаются нерекультивированными, и оценка их реального влияния на почвенный покров является актуальной научно-практической задачей.

Цель данной работы — оценить влияние длительно эксплуатируемого земляного хранилища нефтешламов с глиняной изоляцией на загрязнение окружающих почв с использованием метода ИК-спектроскопии.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести отбор проб почвы на разных расстояниях от зеркала нефтешламового амбара.
2. Определить содержание нефтепродуктов в пробах методом ИК-спектроскопии.
3. Проанализировать зависимость уровня загрязнения от расстояния до хранилища и рельефа местности.
4. Оценить достаточность существующей глиняной изоляции и экологические риски

Характеристика объекта исследования

Исследуемый объект представляет собой земляное хранилище нефтешламов (амбар), расположенное на территории одного из предприятий южной промзоны Республики Башкортостан, в пойменной части р. Белой. Объект введён в эксплуатацию в 1986 г. Геометрические размеры: глу-

бина — 10 м, длина — 210 м, ширина — 48 м, объём — 100 800 м³. Общая площадь изъятых из пользования земель — 1,3 га.

Выемка амбара изолирована слоем глины, по периметру хранилище окружено дамбой высотой 1,5 м. В настоящее время новые нефтеотходы в хранилище не завозятся, однако сохраняется значительный объём застарелых шламов. По данным предприятия, накопленные отходы содержат до 50 % воды, до 48 % нефтепродуктов и относятся к IV классу опасности (малоопасные).

Отбор проб

Отбор проб почвы проводили на глубине 20 см в пяти точках на разном расстоянии от зеркала амбара (водной кромки): 0,5 м (внутренняя сторона дамбы), 1,5 м (вершина дамбы), 3 м (внешняя сторона дамбы), 4 м и 5 м от зеркала.

Отбор проб осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.4.02-2017 [14] и ГОСТ 17.4.3.01-2017 [15]. Пробы упаковывали в полиэтиленовые пакеты, доставляли в лабораторию и хранили при температуре 4 °С до момента анализа.

Подготовка проб и метод анализа

Образцы почвы высушивали при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, удаляли механические включения (корни, камни), измельчали и просеивали через сито с диаметром ячеек 0,5 мм. Из каждого образца отбирали навеску массой 100 ± 1 г.

Содержание нефтепродуктов определяли методом ИК-спектроскопии на анализаторе КН-2М по аттестованной методике ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 [16]. Метод основан на экстракции нефтепродуктов из почвы четыреххлористым углеродом, хроматографическом отделении от сопутствующих органических соединений и количественном определении по интенсивности поглощения в ИК-области спектра.

Экстракцию проводили трёхкратно порциями CCl₄ по 10 мл при встряхивании в течение 1 часа на аппарате для встряхивания. Объединённый экстракт фильтровали через бумажный фильтр «белая лента» и пропускали через хроматографическую колонку с оксидом алюминия для отделения полярных соединений.

Содержание нефтепродуктов в почве X (мг/кг) рассчитывали по формуле:

$$X = (C \times V \times V_2 \times V_{\text{эл.угл.}}) / (M \times V_1 \times V_{\text{ал}})$$

Где:

C — показания прибора, мг/дм³;

M — масса навески, кг;

V — суммарный объём экстракта, дм³;

V_1 — объём экстракта, взятый для разбавления, дм^3 ;

V_2 — объём экстракта после разбавления, дм^3 ;

$V_{\text{ал}}$ — объём аликвоты, введённой в колонку, дм^3 ;

$V_{\text{эл}}$ — объём элюата, дм^3 .

Каждая проба анализировалась в трёх повторностях, результаты подвергали статистической обработке с вычислением среднего арифметического и стандартного отклонения.

Результаты исследования

1 Внутренняя сторона дамбы (0,5 м от зеркала) $5864,0 \pm 412,3$

2 Вершина дамбы (1,5 м от зеркала) $810,0 \pm 89,7$

3 Внешняя сторона дамбы (3 м от зеркала) $362,1 \pm 45,2$

4 Расстояние 4 м от зеркала амбара $9806,8 \pm 687,1$

5 Расстояние 5 м от зеркала амбара $993,6 \pm 102,4$

Полученные данные свидетельствуют о значительной пространственной неоднородности загрязнения. Максимальное содержание нефтепродуктов зафиксировано в точке 4 ($9806,8 \text{ мг/кг}$) — на расстоянии 4 м от зеркала амбара, в пониженном элементе рельефа. Высокий уровень загрязнения также отмечен на внутренней стороне дамбы (точка 1, $5864,0 \text{ мг/кг}$), что указывает на непосредственное просачивание нефтешламов через тело дамбы или под ней.

Минимальные значения обнаружены на внешней стороне дамбы (точка 3, $362,1 \text{ мг/кг}$) и на вершине дамбы (точка 2, $810,0 \text{ мг/кг}$). Вершина дамбы и её внешний склон находятся выше уровня хранящихся отходов, что препятствует прямому поступлению загрязнителя. Точка 5 ($993,6 \text{ мг/кг}$) демонстрирует умеренное загрязнение, что может быть связано с рассеиванием при миграции и разбавлением чистыми почвами.

Сравнение с пороговыми уровнями, рекомендованными для оценки ущерба землям (5000 мг/кг — очень высокий уровень загрязнения), показывает, что в точках 1 и 4 уровни загрязнения значительно превышают этот показатель, что квалифицирует данные участки как зоны экологического бедствия локального характера.

Зависимость загрязнения от расстояния и рельефа

Анализ распределения нефтепродуктов показывает отсутствие простой монотонной зависимости «чем ближе к амбару, тем сильнее загрязнение». Наибольшее загрязнение обнаружено не

непосредственно у кромки (точка 1), а на расстоянии 4 м (точка 4). Это объясняется несколькими факторами:

Во-первых, в точке 4 проба отбиралась в локальном понижении рельефа, где происходит аккумуляция поверхностно мигрирующих углеводородов. Во-вторых, на близких расстояниях (точки 1–3) сильное влияние оказывает искусственный барьер — дамба, которая частично сдерживает прямое растекание загрязнителя.

Выявленная закономерность принципиально важна для организации мониторинга: контрольные точки нельзя располагать только на фиксированных расстояниях от источника без учёта рельефа. В противном случае зоны максимального накопления могут остаться невыявленными.

Оценка эффективности глиняной изоляции

Глиняная изоляция и дамба были созданы для предотвращения выхода загрязнителя за пределы хранилища. Однако высокие концентрации нефтепродуктов на расстоянии 4 м (почти 1 % от массы почвы, что соответствует очень высокому уровню загрязнения) и на внутренней стороне дамбы (0,58 %) свидетельствуют о том, что изоляция не является полностью герметичной.

Вероятные пути миграции:

- капиллярный подъём нефтепродуктов по телу дамбы с последующим выходом на поверхность за её пределами;

- фильтрация через нарушенные участки глиняного экрана, особенно в зоне контакта с дамбой;

- поверхностный сток при переполнении амбара атмосферными осадками.

С учётом возраста объекта (около 80 лет эксплуатации) и отсутствия регулярного контроля, эти пути миграции, скорее всего, активны длительное время, что привело к накоплению углеводородов в почве.

Сравнение с нормативными уровнями

Как указано в разделе 3.3 исходного обзора, в России отсутствуют федеральные ПДК нефтепродуктов в почве, однако для оценки ущерба применяется шкала: до 1000 мг/кг — допустимый уровень; 1000 – 2000 — низкий; 2000 – 3000 — средний; 3000 – 5000 — высокий; более 5000 — очень высокий. По этой шкале:

- Точка 1 ($5864,0 \text{ мг/кг}$) — очень высокий уровень.

- Точка 4 ($9806,8 \text{ мг/кг}$) — очень высокий уровень, превышающий порог почти в 2 раза.

- Точка 5 ($993,6 \text{ мг/кг}$) — граница допустимого и низкого уровня.

- Точка 2 (810,0 мг/кг) — допустимый уровень.

- Точка 3 (362,1 мг/кг) — допустимый уровень.

Таким образом, загрязнение носит очаговый характер: наряду с фоновыми или допустимыми участками существуют локальные зоны с экстремально высокими концентрациями, требующие первоочередного вмешательства.

Экологические риски

Высокие концентрации нефтепродуктов в почве приводят к нарушению водно-воздушного режима, гидрофобизации, подавлению ферментативной активности и гибели почвенной биоты [7; 8]. Особую опасность представляет возможность миграции углеводородов в нижележащие горизонты и поступления в грунтовые воды, учитывая расположение объекта в пойменной части р. Белой. Загрязнение грунтовых вод может привести к распространению загрязнения на значительные расстояния и создать угрозу для водозаборов.

Ситуация усугубляется тем, что рекультивация объекта до настоящего времени не проводилась, а изоляция не обеспечивает герметичности. Даже при отсутствии новых поступлений отходов остаточные нефтешламы продолжают служить источником загрязнения.

Заключение

По результатам выполненного исследования сформулированы следующие основные выводы:

Пространственное распределение загрязнения. Содержание нефтепродуктов в почве вокруг земельного хранилища варьирует от 362,1 до 9806,8 мг/кг. Максимальные концентрации (9806,8 мг/кг) зафиксированы на расстоянии 4 м от зеркала амбара в понижении рельефа, а также на внутренней стороне дамбы (5864,0 мг/кг).

Факторы загрязнения. Установлено, что уровень загрязнения почв определяется не только расстоянием до источника, но и микрорельефом: пониженные участки аккумулируют мигрирующие углеводороды. Вершина и внешний склон дамбы, расположенные выше уровня отходов, характеризуются допустимыми уровнями загрязнения (362–810 мг/кг).

Оценка эффективности изоляции. Глиняная изоляция и дамба не обеспечивают полной герметичности хранилища. Наличие высоких концентраций нефтепродуктов за пределами дамбы свидетельствует об активных процессах капиллярной фильтрации и/или поверхностной миграции загрязнителя.

Экологическая опасность. Выявленные уровни загрязнения в точках 1 и 4 соответствуют категории «очень высокий» (более 5000 мг/кг) и создают прямую угрозу почвенной экосистеме, а при дальнейшей миграции — и грунтовым водам поймы р. Белой.

Рекомендации. Необходимы:

- организация регулярного мониторинга почв и грунтовых вод вокруг хранилища;
- проведение детального обследования состояния глиняного экрана и тела дамбы;
- разработка проекта рекультивации с извлечением и переработкой накопленных нефтешламов;
- внесение данной территории в реестр объектов накопленного вреда окружающей среде.

Перспективы исследований. В дальнейшем целесообразно расширить сеть точек отбора с учётом розы ветров и направления грунтового потока, а также выполнить анализ донных отложений в ближайших водотоках для оценки масштабов загрязнения водной среды.

Список литературы:

- [1] Май И.В., Максимова Е.В., Термулаева Р.М., Хамидов Р.Х., Сардалова Л.Э., Ирипханов И.И. Нефтешламные амбары как объекты накопленного вреда окружающей среде и источники риска для здоровья населения. Гигиена и санитария. 2022;101(11). С. 1283-1289.
- [2] Johnson O.A., Affam A.Ch. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. Environmental Engineering Research. 2019. Vol. 24. No. 2. P. 191-201.
- [3] Малышкин М. М., Пашкевич М. А. Мониторинг и разработка методов рекультивации нефтешламных амбаров // Записки Горного института. 2008. С. 236-238.
- [4] Borisova E.A., Krasnoperova S.A. Development of proposals for the reclamation of slurry barns at the Surgutneftegaz. Oil Province. 2019. No. 4(20). P. 352-367.
- [5] Dubovtsev D., Allayarov U., Abdrakhmanova E. Oil sludge: storage and accumulation. Safety and disposal considerations. Oil and Gas Business. 2019. Vol. 5. P. 31-47.
- [6] Shulaev N.S., Pryanichnikova V.V., Kadyrov R.R. Journal of Mining Institute. 2021. Vol. 252. P. 937-946.
- [7] Gorlenko N., Timofeeva S. Assessment of environmental damage from oil sludge to land resources in the Irkutsk Region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 408. P. 012021.

- [8] Zhichkin K., Nosov V., Zhichkina L. Et al. Calculation of damage caused to agricultural areas as a result of placement of oil production facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 808. P. 012054.
- [9] Kobilov N.S., Khamidov B.N., Shukurov A. Sh. et al. Study of oil sludge of oil refinery and their processing. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2023. No. 9-10. P. 67-70.
- [10] Hasan A., Kamal R.S., Kamal R. Et al. Petroleum sludge formation and its treatment methodologies: a review. Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31. P. 1-18.
- [11] Baran I., Klimek Z., Nowak M. Method of assessing the level and quantity of sludge in crude oil storage tanks. 36th Conference of the European Working Group on Acoustic Emission. 2024. Potsdam.
- [12] Shulaev N.S., Kadyrov R.R., Pryanichnikova V.V. Journal of Mining Institute. 2024. Vol. 265. P. 147-155.
- [13] Glum T.P., Menshikov S.O., Smirnov Yu.D. Analysis of existing technologies for processing oil sludge into polymer additives for asphalt concrete. Actual problems of oil and gas. 2021. No. 4(35). P. 68-77.
- [14] ГОСТ 17.4.4.02-2017. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2018.
- [15] ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2018.
- [16] ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 1998.
- [4] Borisova E.A., Krasnoperova S.A. Development of proposals for the reclamation of slurry barns at the Surgutneftegaz. Oil Province. 2019. No. 4(20). P. 352-367.
- [5] Dubovtsev D., Allayarov U., Abdrakhmanova E. Oil sludge: storage and accumulation. Safety and disposal considerations. Oil and Gas Business. 2019. Vol. 5. P. 31-47.
- [6] Shulaev N.S., Pryanichnikova V.V., Kadyrov R.R. Journal of Mining Institute. 2021. Vol. 252. P. 937-946.
- [7] Gorlenko N., Timofeeva S. Assessment of environmental damage from oil sludge to land resources in the Irkutsk Region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 408. P. 012021.
- [8] Zhichkin K., Nosov V., Zhichkina L. Et al. Calculation of damage caused to agricultural areas as a result of placement of oil production facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 808. P. 012054.
- [9] Kobilov N.S., Khamidov B.N., Shukurov A. Sh. et al. Study of oil sludge of oil refinery and their processing. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2023. No. 9-10. P. 67-70.
- [10] Hasan A., Kamal R. S., Kamal R. Et al. Petroleum sludge formation and its treatment methodologies: a review. Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31. P. 1-18.
- [11] Baran I., Klimek Z., Nowak M. Method of assessing the level and quantity of sludge in crude oil storage tanks. 36th Conference of the European Working Group on Acoustic Emission. 2024. Potsdam.
- [12] Shulaev N.S., Kadyrov R.R., Pryanichnikova V.V. Journal of Mining Institute. 2024. Vol. 265. P. 147-155.
- [13] Glum T.P., Menshikov S.O., Smirnov Yu.D. Analysis of existing technologies for processing oil sludge into polymer additives for asphalt concrete. Actual problems of oil and gas. 2021. No. 4(35). P. 68-77.
- [14] GOST 17.4.4.02-2017. Methods of Sampling and Preparing Samples for Chemical, Bacteriological, and Helminthological Analysis. Moscow: Standartinform, 2018.
- [15] GOST 17.4.3.01-2017. Environmental Protection. General Requirements for Sampling. Moscow: Standartinform, 2018.
- [16] ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Methodology for Measuring the Mass Fraction of Petroleum Products in Mineral, Organogenic, Organo-Mineral Soils and Bottom Sediments Using IR Spectrometry. Moscow, 1998.

References:

- [1] May I.V., Maksimova E.V., Termulaeva R.M., Khamidov R.Kh., Sardalova L.E., Iripkhanov I.I. Oil sludge pits as objects of accumulated environmental damage and sources of public health risk. Hygiene and Sanitation. 2022;101(11). P. 1283-1289.
- [2] Johnson O.A., Affam A.Ch. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. Environmental Engineering Research. 2019. Vol. 24. No. 2. P. 191-201.
- [3] Malyshkin M.M., Pashkevich M.A. Monitoring and development of methods for reclamation of oil sludge pits // Zapiski Gornogo Instituta. 2008. P. 236-238.

