

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ Р. ВОЛГИ
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В РАЙОНЕ ИЛЬИНСКИХ НЕФТЕЯМ**

Нгуен Нгок Ань

*Астраханский Государственный Технический Университет, Астрахань, Россия**Эл. почта: ngocanh_98@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 02.04.2026; принята к печати 30.07.2026

Ильинские нефтямы – комплекс из 19 открытых котлованов в 20 км юго-западнее Астрахани, созданный в начале XX века для хранения отходов нефтепереработки. За более чем столетний период площадь загрязнения земель нефтеотходами превысила 100 га; нефтесодержащие отходы сохраняются на территории объекта и рассматриваются как потенциальный источник вторичного загрязнения прилегающих вод. По данным мониторинга 2022–2025 гг. оценено содержание нефтепродуктов и тяжелых металлов в воде и донных отложениях Волги на пяти пунктах, один из которых расположен выше по течению и использован для сравнения. Наиболее устойчивый пространственно-сезонный сигнал установлен для железа: в пунктах № 3–4 его содержание достигало 0,30 мг/дм³ летом и осенью и 0,20 мг/дм³ весной при 0,10 мг/дм³ в пункте К и пунктах № 1–2. Для цинка также прослеживалось преимущественное повышение к пунктам № 3–4 в теплые сезоны. Кобальт и медь часто превышали рыбохозяйственные ПДК; для никеля и свинца отмечались отдельные превышения, для хрома – единичное, тогда как количественно определенные значения кадмия и мышьяка ПДК не превышали. Наиболее выраженный пространственный градиент выявлен для нефтепродуктов: их содержание возрастало от пункта К к пункту № 4, а сезонный максимум приходился на лето. В донных отложениях загрязняющие вещества сохранялись на измеряемых уровнях; для большинства компонентов максимум годовых значений приходился на 2023 г. Совокупность результатов характеризует исследуемый участок как зону локальной и сезонно изменчивой техногенной нагрузки. Полученные данные могут использоваться как исходная характеристика гидросистемы при подготовке и последующей оценке эффективности мероприятий по ликвидации накопленного экологического вреда.

Ключевые слова: Ильинские нефтямы, река Волга, тяжелые металлы, нефтепродукты, донные отложения.

**HEAVY METAL POLLUTION OF WATER AND BOTTOM SEDIMENTS IN THE VOLGA RIVER IN
THE ILYINSKY OIL RESERVOIRS AREA**

Nguyen Ngok An

*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia**Email: ngocanh_98@mail.ru*

The Ilyinsky oil pits comprise 19 open excavations about 20 km southwest of Astrakhan, created in the early twentieth century for petroleum-processing wastes. More than a century of operation has contaminated over 100 ha of land, and petroleum-containing wastes remain at the site as a potential source of secondary pollution of adjacent waters. Monitoring data for 2022–2025 were used to assess petroleum products and heavy metals in Volga River water and bottom sediments at five stations, including one upstream comparison station. The most consistent spatial and seasonal signal was observed for iron: at stations 3–4 concentrations reached 0.30 mg/L in summer and autumn and 0.20 mg/L in spring, compared with 0.10 mg/L at station K and stations 1–2. Zinc also tended to be higher at stations 3–4 during warm seasons. Cobalt and copper frequently exceeded fishery water-quality limits; nickel and lead showed occasional exceedances and chromium one exceedance, whereas quantified cadmium and arsenic values remained below their limits. Petroleum products showed the clearest spatial gradient, increasing from station K toward station 4, with a summer maximum. Contaminants remained measurable in bottom sediments, and most components showed their highest annual values in 2023. The results characterize the studied reach as an area of localized and seasonally variable technogenic pressure and may serve as a baseline for planning and subsequently evaluating measures aimed at remediation of accumulated environmental damage.

Key words: *Ilyinsky oil pits, Volga River, heavy metals, petroleum products, bottom sediments.*

Введение

Река Волга, являясь крупнейшей водной артерией Европы, играет ключевую роль в водоснабжении, судоходстве, рыбном хозяйстве и рекреации. Ее экологическое состояние, особенно в низовьях, является объектом пристального внимания из-за многочисленных источников антропогенного воздействия. Одним из наиболее серьезных вызовов является загрязнение гидросистемы нефтепродуктами, представляющее угрозу для гидробионтов и здоровья населения. В этом контексте особую актуальность приобретает оценка объектов накопленного экологического ущерба, расположенных в непосредственной близости от реки. К таким объектам относятся Ильинские нефтямы в Икрянинском районе Астраханской области – историческое хранилище нефтеотходов, которое продолжает оказывать негативное влияние на окружающую среду [1].

Ильинские нефтямы представляют собой комплекс из 19 открытых котлованов, расположенных примерно в 20 км юго-западнее Астрахани. Они были созданы в начале XX века и использовались для хранения мазута, нефтешламов, буровых растворов и других отходов нефтепереработки. По опубликованным результатам анализа отобранных на объекте нефтесодержащих проб материал включает углеводородную,

водную и твердую фазы [3]; поэтому видимая на рис. 1 жидкая поверхность не интерпретируется как доказательство того, что котлован заполнен только накопившейся водой.



Рис. 1. Один из открытых котлованов Ильинских нефтей с видимой жидкой поверхностью на момент обследования

За более чем столетний период эксплуатации площадь загрязнения земель нефтеотходами превысила 100 гектаров. Ситуация осложняется расположением объекта в водоохранной зоне Волги, вблизи водозабора поселка Ильинка; в паводковый период сохраняется риск размыва защитного вала и переноса нефтепродуктов в речную систему. В связи с этим объект ранее рассматривался для ликвидации накопленного экологического вреда и рекультивации территории в рамках природоохранных программ.¹ Мониторинговая характеристика воды и донных отложений до проведения таких работ необходима как исходный уровень для оценки их экологической эффективности.

Объект накопленного экологического ущерба “Ильинские нефтямы” может рассматриваться как потенциально активный источник вторичного загрязнения: накопленные нефтесодержащие отходы длительное время сохраняются в грунтовой толще, однако при изменении гидрологической обстановки способны вовлекаться в миграционные процессы и поступать в прилегающую водную систему. В отличие от типичных почвенных загрязнений, где токсиканты закреплены в верхнем гумусовом горизонте, здесь мы имеем дело с линзами чистого нефтешлама – высококонцентрированной смеси мазута, отработанных масел и буровых растворов. Тяжелые металлы в нефтешламах обладают высокой сорбционной аффинностью к органическому веществу и мелкодисперсным частицам. Однако при изменении pH, окислительно-восстановительного потенциала, температуры и содержания органического вещества металлы могут переходить в более подвижные формы, что повышает риск их миграции из загрязненных грунтов и донных отложений в водную фазу [4, 9, 18].

Донные отложения в данном случае выступают не как индикатор, а именно как депо, где накапливаются наиболее стойкие формы загрязнений. В отличие от воды, где концентрации могут варьироваться в зависимости от сезона и гидрологического режима, донные осадки фиксируют долговременный эффект. Именно здесь создаются условия для вторичного загрязнения водной толщи, особенно в периоды паводков или при антропогенном воздействии. Кроме того, донные отложения служат средой обитания для бентосных организмов, которые включаются в трофические цепи, что делает вопрос накопления тяжелых металлов и углеводородов в этом компоненте экосистемы критически значимым для оценки долгосрочных рисков [2, 10, 11, 17].

Ситуация с Ильинскими нефтямами не является уникальной для Нижней Волги. В водоохранной зоне р. Кизань исследованы Соколовские нефтямы – исторические нефтешламонакопители аналогичного происхождения, для которых установлены высокое содержание нефтепродуктов в грунтах, пространственная неоднородность загрязнения и риск поступления загрязняющих веществ в водоток [6]. Для Нижней Волги и ее устьевой области накоплен значительный массив данных о миграции, распределении и накоплении металлов. В. Ф. Бреховских и соавт. исследовали процессы транспорта и аккумуляции тяжелых металлов в Нижней Волге [7], а последующие исследования донных отложений Верхней и Нижней Волги показали выраженную пространственную неоднородность содержания металлов и участие железа и марганца в окислительно-восстановительных циклах [8]. Для устьевой области Волги установлена высокая пространственно-временная изменчивость миграции химических элементов, связанная с гидродинамическими условиями, расходом воды и наносов [12]. Многолетние наблюдения в зоне смешения волжских и каспийских вод позволили охарактеризовать закономерности миграции растворенных микроэлементов [15], а исследования вод дельты Волги дали оценки пространственной и межгодовой изменчивости ее макро- и микроэлементного состава [16]. Экоотоксикологические исследования бассейна

1. Ильинские нефтяные ямы в Астраханской области планируется ликвидировать в рамках нацпроекта «Экология». Астраханский листок. URL: <https://astravolga.ru/news/ilinskie-neftyanye-yamy-v-astrakhanskoy-oblasti-planiruetsya-likvidirovat-v-ramkakh-natsproekta-ekol/> (дата обращения: 10.01.2026).

Волги также показали необходимость комплексной оценки химического загрязнения и его биологических последствий [13].

В связи с вышеизложенным целью исследования являлась оценка загрязнения гидросистемы реки Волга в районе расположения Ильинских нефтеям на основе многолетних данных мониторинга (2022–2025 годы).

Материалы и методы

Объектом исследования является участок реки Волги – водный объект высшей рыбохозяйственной категории, расположенный в районе Ильинских нефтеям (Астраханская область), в непосредственной близости от водозабора, обеспечивающего хозяйственно-питьевое водоснабжение поселка Ильинка [1, 3]

Для исследования выделены пять мониторинговых пунктов. Сравнительный пункт (К) расположен выше по течению относительно основной группы точек; пункты № 1–4 размещены последовательно вдоль участка реки, прилегающего к Ильинским нефтеям (рис. 2).

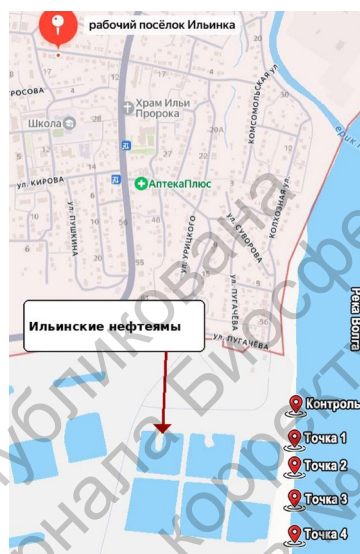


Рис. 2. Расположение мониторинговых пунктов и Ильинских нефтеям

Участок характеризуется развитой поймой, медленным течением и сезонными колебаниями уровня воды, определяющими интенсивные руслово-пойменные обменные процессы.

Отбор проб воды и донных отложений проводили в 2022–2025 годах на пяти мониторинговых пунктах четыре раза в год: весной, летом, осенью и зимой. Пробы воды отбирали из поверхностного слоя на глубине 0,3–0,5 м с прибрежной зоны полиэтиленовым батометром; при невозможности безопасного подхода к урезу воды отбор выполняли с маломерного судна в пределах того же створа. На каждой станции отбирали три параллельные пробы объемом 1,0 дм³, из которых для лабораторного анализа формировали среднюю объединенную пробу.

Донные отложения отбирали в те же сезонные сроки, что и воду, – четыре раза в год, из поверхностного слоя 0–5 см дночерпателем типа Экмана. На каждой станции получали три точечные пробы, объединяли их в среднюю пробу, помещали в химически инертную тару и транспортировали в охлажденном состоянии. До анализа образцы хранили при температуре 4 ± 2 °С.

Нефтешлам рассматривали как отдельный тип исследуемого материала. Для характеристики потенциального источника загрязнения анализировали усредненную пробу верхнего обводненного слоя нефтешлама, отобранную из одного репрезентативного котлована Ильинских нефтеям. Полученные результаты использовали для характеристики состава исследованной пробы и не экстраполировали на нефтешлам всех 19 котлованов.

Для определения растворенных форм металлов водные пробы фильтровали через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм, после чего консервировали азотной кислотой до pH < 2. Таким образом, приведенные в работе значения по металлам в воде относятся к фракции, прошедшей через фильтр 0,45 мкм, а не к валовому содержанию металлов во взвешенном веществе.

Полевой отбор всех проб воды и донных отложений, их маркировку и формирование объединенных проб в 2022–2025 годах выполняли по единой схеме при непосредственном участии автора. Инструментальные определения содержания металлов в пробах воды, донных отложений и нефтешлама выполняли в лаборатории Астраханского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба» после соответствующей матрично-специфической пробоподготовки. В воде железо, цинк, кадмий, кобальт, медь, никель, свинец и хром определяли атомно-абсорбционным методом, мышьяк – электротермической атомно-абсорбционной спектроскопией, ртуть – беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопией с техникой «холодного пара».

Нефтепродукты в воде определяли в соответствии с ГОСТ Р 70283-2022. Для донных отложений применяли те же принципы конечного инструментального определения металлов, но матрично-специфическую пробоподготовку: железо, цинк, кадмий, кобальт, медь, никель, свинец, хром и мышьяк – по РД 52.10.775-2013; ртуть – по РД 52.10.774-2013 с техникой «холодного пара». Массовую долю нефтяных компонентов в донных отложениях устанавливали по РД 52.24.505-2010.

Обработку и систематизацию результатов проводили в Microsoft Excel. Для сопоставления мониторинговых пунктов использовали максимальные количественно определенные концентрации за 2022–2025 гг., а сезонную динамику оценивали по значениям весеннего, летнего, осеннего и зимнего сроков отбора. Результаты ниже предела количественного определения (ПКО) сохраняли со знаком «<» и не использовали при выборе максимального количественно определенного значения. Содержание загрязняющих веществ в воде сопоставляли с рыбохозяйственными ПДК по приказу Федерального агентства по рыболовству от 26.05.2025 № 296.

Результаты исследований

Характеристика нефтешлама

Содержание определяемых нефтепродуктов, фенолов и металлов в исследованной пробе нефтешлама представлено в табл. 1.

Табл. 1

Содержание нефтепродуктов, фенолов и металлов в усредненной пробе верхнего обводненного слоя нефтешлама

Показатель	Значение, мг/кг
Нефтепродукты	777000 ± 272000
Летучие фенолы	1,24 ± 0,20
Железо (Fe)	<1000
Кобальт (Co)	<5
Свинец (Pb)	<10
Кадмий (Cd)	<1
Марганец (Mn)	<200
Медь (Cu)	<10
Никель (Ni)	<50
Хром (Cr)	<5
Мышьяк (As)	<0,25
Ртуть (Hg)	0,011

Примечание. Приведены результаты определения указанных компонентов в усредненной пробе верхнего обводненного слоя нефтешлама из исследованного котлована. Обозначение «<» означает содержание ниже ПКО примененной методики; величина «±» воспроизводит погрешность результата, указанную в лабораторном протоколе.

Нефтепродукты составляют основную часть исследованной пробы верхнего обводненного слоя нефтешлама. Оставшаяся доля не является единым компонентом: для нефтешламов Ильинских нефтей ранее показано наличие водной и твердой фаз наряду с углеводородной фазой [3]. Выраженная неоднородность такого материала ожидаема для исторического объекта накопления, куда поступали различные виды нефтесодержащих отходов.

Из представленных металлов количественно определена ртуть; содержание остальных элементов находилось ниже ПКО примененных методик. Это отражает ограничение количественного определения, а не отсутствие элементов в пробе. Наличие ртути в нефтешламе требует внимания при оценке долговременного экологического риска с учетом ее способности к биоаккумуляции и токсического действия [5, 14].

Результаты мониторинга состава воды

Для сопоставления мониторинговых пунктов в табл. 2 приведены максимальные количественно определенные концентрации девяти металлов, зарегистрированные на соответствующем пункте в одном из сезонных сроков отбора 2022–2025 годов. Сезонные особенности рассматриваются далее в тексте; рыбохозяйственные ПДК приведены в соответствии с приказом Федерального агентства по рыболовству от 26.05.2025 № 296.

В таком представлении отчетливо прослеживается увеличение содержания большинства металлов от верхнего сравнительного створа к пунктам № 3–4. Наиболее выражено различие для железа: в пункте К и пунктах № 1–2 максимальные значения составляли 0,10 мг/дм³, тогда как в пунктах № 3–4 достигали 0,30 мг/дм³, то есть трех рыбохозяйственных ПДК. Для цинка, кобальта и меди наиболее высокие максимумы также приходились на нижнюю часть исследуемого ряда.

Для никеля максимальные количественно определенные значения превышали ПДК на всех пунктах, причем наибольшее отмечено в пункте № 3. Для свинца превышение ПДК появлялось только в пунктах № 3–4, для хрома – только в пункте № 4. Количественно определенные значения кадмия и мышьяка нигде не

превышали ПДК. Таким образом, для ряда металлов пространственная тенденция к повышению концентраций в направлении пунктов № 3–4 сохранялась независимо от наличия отдельных превышений уже в верхнем створе.

Табл. 2

Максимальные количественно определенные концентрации металлов в воде по мониторинговым пунктам за 2022–2025 годы, мг/дм³

Элемент	ПДК	К	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Fe	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,30
Zn	0,010	0,017	0,019	0,023	0,025	0,027
Cd	0,005	0,0022	0,0024	0,0028	0,0032	0,0034
Co	0,010	0,018	0,018	0,022	0,026	0,026
Cu	0,001	0,0020	0,0024	0,0028	0,0029	0,0030
As	0,050	0,028	0,026	0,032	0,042	0,040
Ni	0,010	0,015	0,013	0,017	0,024	0,023
Pb	0,006	0,0046	0,0046	0,0054	0,0070	0,0068
Cr	0,070	0,061	0,063	0,067	0,069	0,072

Примечание. Для каждого пункта приведено максимальное значение среднего по трем аналитическим параллелям, зарегистрированное в один из сезонных сроков отбора 2022–2025 годов. Курсивом выделены значения, превышающие рыбохозяйственные ПДК по приказу Федерального агентства по рыболовству от 26.05.2025 № 296.

Наличие превышений ПДК в пункте К показывает, что вода, поступающая на исследуемый участок сверху по течению, уже несет определенную антропогенную нагрузку. Вместе с тем дальнейшее увеличение концентраций к пунктам № 3–4 указывает на дополнительный локальный вклад в пределах исследуемого участка. Поэтому выявленный градиент рассматривается как характеристика приращения загрязнения по ходу течения, а не как сопоставление с условно «чистым» фоном [7, 8, 12, 15].

Сезонность наиболее отчетливо проявлялась у железа, цинка и нефтепродуктов: повышенные уровни чаще приходились на теплый период. Сочетание сезонной и пространственной изменчивости согласуется с усилением поступления и перераспределения загрязняющих веществ при изменении гидрологического режима и условий взаимодействия воды с донными отложениями [10, 12].

Среднее содержание нефтепродуктов в воде на исследуемом участке р. Волги по мониторинговым пунктам и сезонам за 2022–2025 гг. представлено на рис. 3.

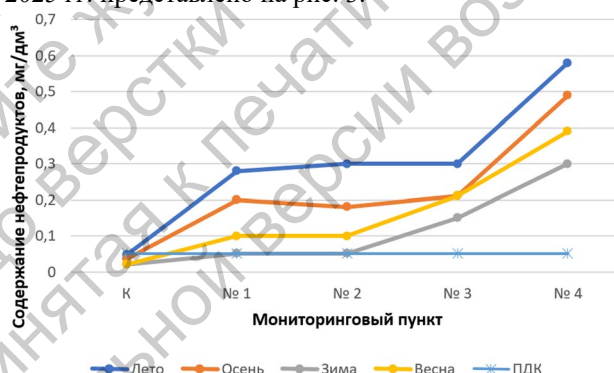


Рис. 3. Сводная сезонная динамика содержания нефтепродуктов в воде на мониторинговых пунктах по данным 2022–2025 годов. Горизонтальная линия соответствует ПДК 0,05 мг/дм³

Для нефтепродуктов пространственный градиент выражен сильнее, чем для большинства металлов: содержание возрастает от пункта К к пункту № 4, а максимальные значения на всех пунктах приходятся на лето (рис. 3). В пункте К ПДК не превышалась; в пунктах № 1–2 превышения характерны для теплых сезонов, а в пунктах № 3–4 сохраняются во все четыре сезона.

Такая согласованная пространственно-сезонная картина указывает на дополнительную локальную нефтяную нагрузку в пределах исследуемого участка. Вместе с тем данные мониторинга не позволяют количественно разделить вклад Ильинских нефтеям, судоходства, берегового стока и других возможных источников; для этого необходим анализ состава загрязнителей и путей переноса.

Результаты мониторинга донных отложений

Наиболее высокие годовые значения нефтепродуктов и большинства определяемых металлов в донных отложениях приходились на 2023 год (рис. 4). Синхронное повышение компонентов различной химической природы указывает на период усиленного поступления и/или накопления загрязняющих веществ в донном материале.

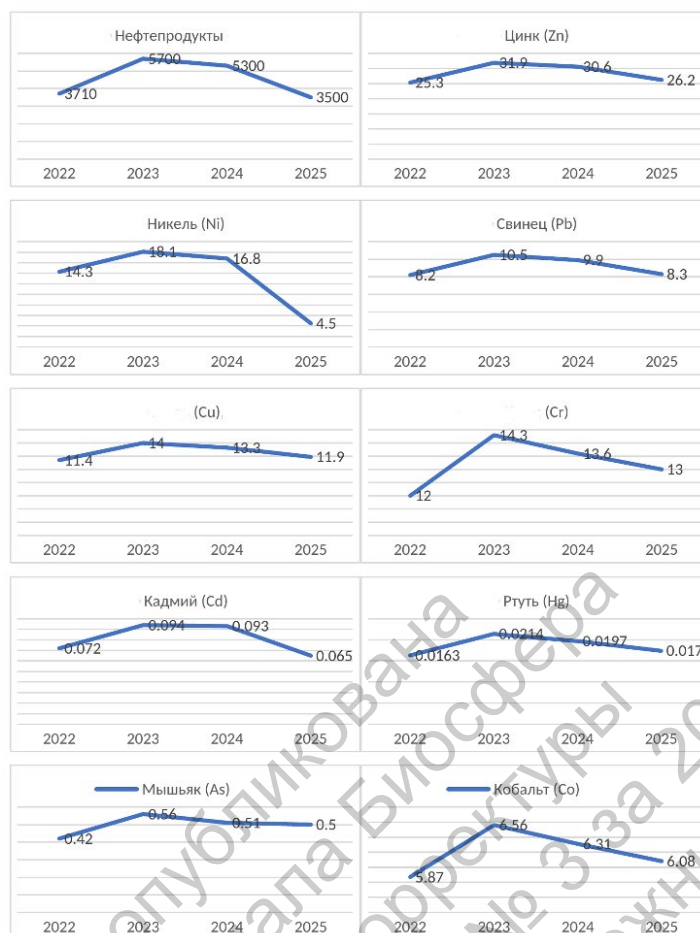


Рис. 4. Годовые агрегированные значения содержания нефтепродуктов и тяжелых металлов в донных отложениях за 2022–2025 годв. Ось X – год наблюдений; ось Y – содержание компонента, мг/кг.

Анализ донных отложений подтверждает устойчивое присутствие нефтяных компонентов и металлов в донном материале и его роль как депо накопленной техногенной нагрузки. Снижение уровней после 2023 года может быть связано с изменением условий осадконакопления и гидрологического режима; при последующем нарушении донного слоя часть связанных загрязняющих веществ способна вновь вовлекаться в водную фазу [9, 10, 11, 17, 18].

Заключение

Мониторинг содержания нефтепродуктов и металлов в р. Волге на участке вблизи Ильинских нефтяем в 2022–2025 годах выявил локальное усиление загрязнения воды вниз по течению. Наиболее устойчиво эта закономерность проявлялась для железа, цинка и особенно нефтепродуктов; для нефтепродуктов одновременно отмечался летний максимум. Кобальт и медь в воде часто превышали ПДК, никель и свинец – в отдельных количественно определенных пробах, хром – единично; для кадмия и мышьяка превышений не выявлено.

В донных отложениях нефтепродукты и металлы устойчиво сохранялись на измеряемых уровнях, причем для большинства компонентов годовой максимум приходился на 2023 год. Это подтверждает способность донного материала аккумулировать загрязняющие вещества и отражать накопленную техногенную нагрузку на исследуемый участок.

Совокупность результатов характеризует исследуемый участок как зону локальной и сезонно изменчивой техногенной нагрузки. Пространственная картина указывает на дополнительное загрязнение в районе пунктов № 3–4 на фоне нагрузки, уже присутствующей в верхнем сравнительном створе, и согласуется с потенциальным влиянием объекта накопленного экологического вреда. Ситуация не является уникальной: аналогичные исторические нефтешламонакопители в водоохранной зоне р. Кизань («Соколовские ямы») также характеризовались выраженным загрязнением нефтепродуктами и риском их поступления в водоток [6]. Поэтому результаты имеют значение не только для локальной характеристики Ильинских нефтяем, но и для оценки экологических рисков подобных объектов накопленного вреда в водоохраных зонах. Полученные данные могут использоваться как исходная характеристика при обосновании ликвидации накопленного экологического вреда, рекультивации территории Ильинских нефтяем и последующем контроле эффективности выполненных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

Список русскоязычной литературы

1. Васильева ЕГ, Мельник ИВ. Оценка состояния водоохраных зон р. Волги в районе п. Ильинка (Астраханская область). Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021;(4):91-7. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-4-91-97.
2. Кудрявцева ВА, Попова ТА, Шигаева ТД. Исследование пространственно-временной динамики аккумуляции тяжелых металлов в донных отложениях Чёрной речки в пределах урбанизированной территории Санкт-Петербурга. Биосфера. 2026;18(1):43-52. DOI: 10.24855/biosfera.v18i1.1035.
3. Нгуен Нгок Ан, Абакумова ЕН. Оценка качественного состава нефтешламов Ильинских ям (Астраханская область). В кн.: Наука и практика – 2023: материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции, Астрахань, 13–17 ноября 2023 г. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2024. С. 90–93.
4. Паршина ЕИ. Экология энергетики: учебное пособие (лабораторный практикум). Сыктывкар: СЛИ, 2022.
5. Щепеткова КМ, Батоцыренова ЕГ, Кашуро ВА, Хальчицкий СЕ. Биохимические аспекты нейротоксичности ртути в экспериментальном исследовании. Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2025; 18(2):206-15.
6. Пюрбеева ЗЮ, Котельников АВ. Содержание нефтепродуктов и токсичность почвы нефтешламонакопителей «Соколовские ямы», расположенных в водоохранной зоне реки Кизань. Современные проблемы науки и образования. 2017;(2). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26309> (дата обращения: 20.08.2026).

Общий список литературы / Reference List

1. Vasilieva EG, Melnik IV. [Assessing state of water protection zones of Volga River within Ilyinka village area]. Vestnik Astrakhanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: Rybnoye Khoziaystvo. 2021;(4):91-7. doi:10.24143/2073-5529-2021-4-91-97. (In Russ.)
2. Kudryavtseva VA, Popova TA, Shigaeva TD. [Spatial-temporal dynamics of heavy metal accumulation in bottom sediments of the Chernaya River within the urbanized territory of St. Petersburg]. Biosfera. 2026;18(1):43-52. doi:10.24855/biosfera.v18i1.1035. (In Russ.)
3. Nguyen Ngok An, Abakumova EN. [Assessment of the qualitative composition of oil sludge from the Ilyinsky pits (Astrakhan Region)]. In: Nauka i Praktika – 2023: Materialy Vserossiyskoy Mezhdistsiplinarnoy Nauchnoy Konferentsii. Astrakhan: ASTU Publishing House; 2024. P. 90-3. (In Russ.)
4. Parshina EI. Ekologiya Energetiki: Uchebnoye Posobiye (Laboratornyi Praktikum) [Ecology of Energetics: Laboratory Manual]. 2nd ed. Syktyvkar: SLI; 2022. 222 p. (In Russ.)
5. Shchepetkova KM, Batotsyrenova EG, Kashuro VA, Khalchitskiy SE. [Biochemical aspects of mercury neurotoxicity in an experimental study]. Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo Universiteta Biologiya. 2025;18(2):206-15. (In Russ.)
6. Pyurbееva ZYu, Kotelnikov AV. [Petroleum product content and soil toxicity of the Sokolovskie oil-sludge storage pits located in the water-protection zone of the Kizan River]. Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya. 2017;(2). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26309>. (In Russ.)
7. Brekhovskikh VF, Katunin DN, Ostrovskaya EA, Perekal'skii VM, Popova OV. Heavy metal transportation and accumulation processes in the Lower Volga River. Water Resources. 1999;26(4):400-10.
8. Brekhovskikh VF, Volkova ZV, Katunin DN, Kazmiruk VD, Kazmiruk TN, Ostrovskaya EV. Heavy metals in bottom sediment in the Upper and Lower Volga. Water Resources. 2002;29:539-47. doi:10.1023/A:1020377915283.
9. Calmano W, Hong J, Förstner U. Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. Water Sci Technol. 1993;28(8–9):223-35. doi:10.2166/wst.1993.0622.
10. Ciszewski D, Grygar TM. A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems. Water Air Soil Pollut. 2016;227:239. doi:10.1007/s11270-016-2934-8.
11. Eggleton J, Thomas KV. A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. Environ Int. 2004;30(7):973-80. doi:10.1016/j.envint.2004.03.001.
12. Lychagin MYu, Tkachenko AN, Kasimov NS, Kroonenberg SB. Heavy metals in the water, plants, and bottom sediments of the Volga River mouth area. J Coast Res. 2015;31(4):859-68. doi:10.2112/JCOASTRES-D-12-00194.1.
13. Moiseenko TI, Gashkina NA, Sharova YuN, Pokoeva AG. Ecotoxicological assessment of after-effects of the Volga River water contamination. Water Resources. 2005;32(4):369-83. doi:10.1007/s11268-005-0048-6.
14. Moiseenko TI, Gashkina NA. Bioaccumulation of mercury in fish as indicator of water pollution. Geochem Int. 2016;54:485-93. doi:10.1134/S0016702916060045.
15. Savenko AV, Brekhovskikh VF, Pokrovskii OS. Migration of dissolved trace elements in the mixing zone between Volga River water and Caspian seawater: results of observations over many years. Geochem Int. 2014;52:533-47. doi:10.1134/S0016702914070064.
16. Savenko AV, Brekhovskikh VF, Pokrovsky OS. Macro- and microelement water composition of the Volga River Delta and its interannual variability. Arid Ecosyst. 2016;6:8-17. doi:10.1134/S2079096116010042.
17. Ye B, Zhang Z, Mao T. Petroleum hydrocarbon in surficial sediment from rivers and canals in Tianjin, China. Chemosphere. 2007;68(1):140-9. doi:10.1016/j.chemosphere.2006.12.074.

18. Zhang C, Yu ZG, Zeng GM, Jiang M, Yang ZZ, Cui F, Zhu MY, Shen LQ, Hu L. Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. Environ Int. 2014;73:270–281. doi:10.1016/j.envint.2014.08.010.

Статья опубликована
на сайте журнала Биосфера
до верстки и корректуры
как принятая к печати в № 3 за 2026 год.
В окончательной версии возможны изменения.