

ГЕОЭКОЛОГИЯ/GEOECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.1>

EDN: EPRLGQ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ САМАРСКОЙ ТЭЦ

Научная статья

Галицкова Ю.М.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-0168-8949;¹ Самарский государственный технический университет, Самара, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (galickova[at]yandex.ru)

Предложена: 28.06.2025; Принята: 19.08.2026; Опубликовано: 17.09.2026

Аннотация

С ростом потребления и развитием энергетики возрастает и негативное воздействие на компоненты окружающей среды со стороны энергетических предприятий. Попадающие в атмосферу загрязняющие вещества, оседая и выпадая на почву, концентрируются на ее поверхности. В статье проанализировано воздействие Самарской ТЭЦ на почву на территории санитарно-защитной зоны и прилегающей жилой зоны. По результатам полученных лабораторных исследований выявлено присутствие нефтепродуктов в верхних слоях почвы на территории жилой зоны, которая используется жителями в качестве дачных участков. Несмотря на отнесение почвы к категории низкой загрязненности нефтепродуктами, рекомендуется проведение мер по очистке почвы (фиторемедиации) для дальнейшего использования участков под огороды.

Ключевые слова: тепловые электростанции, загрязнение почвы, лабораторные исследования, допустимые концентрации, природоохранные мероприятия.

DETERMINATION OF THE DEGREE OF SOIL CONTAMINATION IN THE AREA SURROUNDING THE SAMARA THERMAL POWER PLANT

Research article

Galitskova Y.M.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-0168-8949;¹ Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

* Corresponding author (galickova[at]yandex.ru)

Suggested: 28.06.2025; Accepted: 19.08.2026; Published: 17.09.2026

Abstract

As energy consumption rises and the energy sector develops, so does the negative impact of energy enterprises on the environment. Pollutants released into the atmosphere settle and fall onto the soil, where they accumulate on its surface. The article analyses the impact of the Samara TPP on the soil within the sanitary protection zone and the adjacent residential area. The results of laboratory tests show the presence of petroleum products in the upper soil layers within the residential area, which is used by residents as allotment gardens. Although the soil is classified as having a low level of contamination by petroleum products, it is recommended that soil remediation measures (phytoremediation) be carried out to enable the plots to be used as vegetable gardens in the future.

Keywords: thermal power plants, soil contamination, laboratory tests, permissible concentrations, environmental protection measures.

Введение

Несмотря на активное развитие нетрадиционных источников энергии, наиболее распространенными способами получения энергии остаются тепловые электростанции (ТЭЦ), обеспечивая промышленные центры и населенные здания теплом. В настоящее время около 70% городского тепла вырабатывается именно этими предприятиями.

Однако в процессе своей деятельности ТЭЦ выбрасывает в атмосферу большое количество загрязняющих веществ. Эти загрязнения со временем оседают на прилегающей городской территории, приводя к ее загрязнению и деградации [1], [2], [3], [5]. Особую роль в этом процессе играют почвы – верхний плодородный слой грунта, обладающий биологической активностью. Накопленные в почвенном покрове загрязнители негативно воздействуют на состояние растительности как на самой промышленной площадке ТЭЦ, так и на территории санитарно-защитной зоны, нарушая естественные процессы грунтообразования.

Самарская ТЭЦ, являющаяся объектом настоящего исследования, расположена в черте города Самара, в непосредственной близости от дачных участков (рис. 1). Предприятие функционирует с 1972 года и включает 7 технологических цехов. Важным обстоятельством является отсутствие газоочистных установок на момент проведения исследований. Несмотря на разработку и реализацию некоторых природоохранных мероприятий (таких как, реконструкция отдельных котлов) с целью потенциального снижения выбросов, принятые меры оказались недостаточными для устранения уже накопленных в почвах загрязняющих веществ.

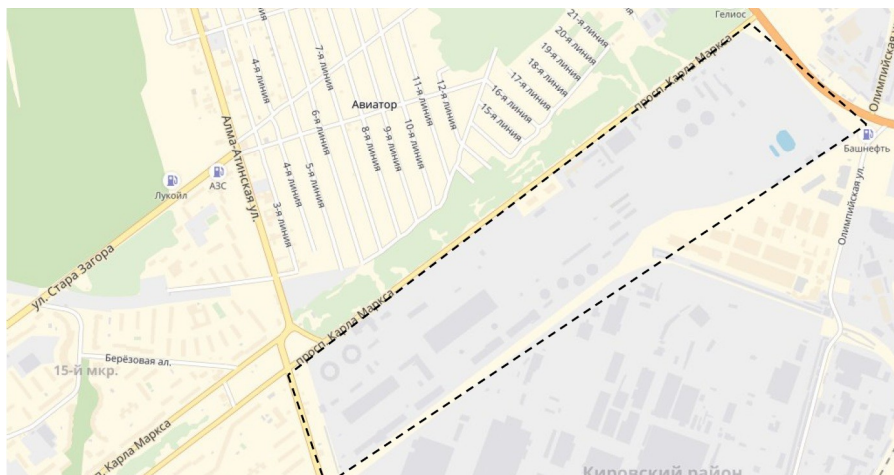


Рисунок 1 - Карта-схема расположения промплощадки ТЭЦ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.1.1>

Главной проблемой данного предприятия является значительное накопление загрязняющих веществ в грунтах санитарно-защитной зоны и прилегающих дачных участков. Согласно проведенным ранее исследованиям по рассеиванию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, степень их воздействия на границе промплощадки, на границе санитарно-защитной зоны и в границах близлежащей жилой застройки не превышает допустимых значений. Однако, одна из сторон санитарно-защитной зоны предприятия примыкает к дачным участкам, на которых жители устраивают свои огороднические хозяйства. Принимая во внимание, что в качестве топлива на ТЭЦ используется мазут, то возникает существенный риск попадания нефтепродуктов и других компонентов мазута в почву, используемую для сельскохозяйственных нужд. Такое загрязнение является одной из основных причин деградации почв и трансформации растительного покрова [1], [6], [7].

Для определения величины накопления загрязняющих веществ непосредственно в почвах, оценки состояния грунтов и определения возможности и безопасности выращивания сельскохозяйственных культур были проведены исследования состояния почв.

Методы и принципы исследования

В мае 2022 года были проведены натурные и лабораторные исследования почв на территории Самарской ТЭЦ и прилегающих участках с целью определения степени накопления загрязняющих веществ и оценки возможности безопасного использования этих территорий в сельскохозяйственных целях.

Для отбора проб было выбрано 50 точек. Эти точки располагались как непосредственно на территории промышленной площадки ТЭЦ, так и на прилегающей территории, включая санитарно-защитную зону. Особое внимание было уделено участкам, расположенным рядом с дачными участками, так как непосредственно на дачных участках выполнить отбор проб не представлялось возможным. Дополнительно было отобрано 5 фоновых проб почв на расстоянии 2 км от ТЭЦ в аналогичном типе ландшафта.

Для детального и наглядного представления данных (с учетом доступности и безопасности) были отобраны 4 ключевые точки, расположенные на территории промышленной площадки ТЭЦ и в пределах прилегающей санитарно-защитной зоны. Выбор представленных более подробно мест отбора проб (рис. 2) и результатов по точкам отбора (табл. 1) основывался на предварительной пространственной оценке территории, включавшей анализ предыдущих исследований, картографических данных и оценку потенциальных зон загрязнения.

Точка 1 — участок вблизи предполагаемого источника загрязнения (склад ГСМ).

Точка 2 — участок в жилой зоне, прилегающей к промышленной площадке, для оценки потенциального влияния на селитебную территорию.

Точка 3 — участок в санитарно-защитной зоне, расположенный по направлению преобладающих ветров от ТЭЦ.

Точка 4 — участок на границе промышленной площадки, смежный с потенциальными источниками загрязнения.

Схема размещения характерных точек отбора проб и их пространственная привязка относительно предполагаемых источников воздействия (ТЭЦ) представлены на рисунке 2.

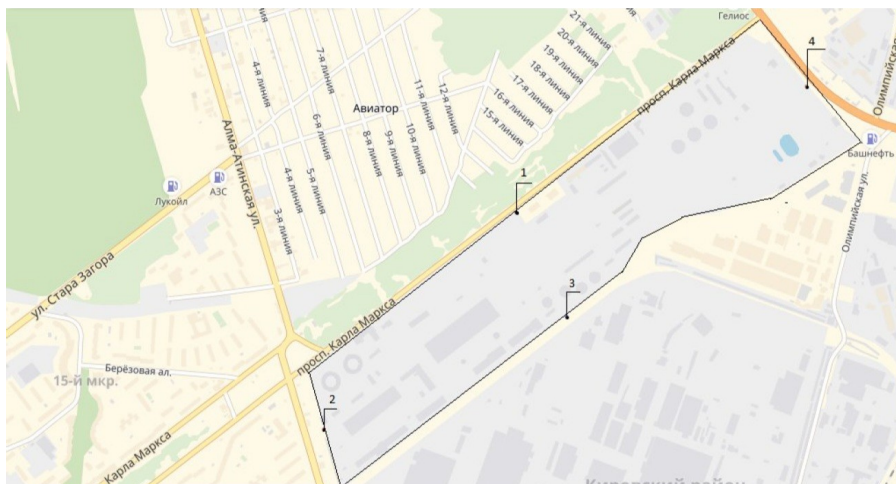


Рисунок 2 - Карта-схема расположения точек взятия проб почвы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.1.2>



Рисунок 3 - Место отбора проб почвы (т. 3) на границе промплощадки ТЭЦ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.1.3>



Рисунок 4 - Место отбора проб почвы (т.2) на границе промплощадки со стороны дачных участков

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.1.4>

При выборе точек отбора проб учитывались следующие критерии:

- преобладающее направление ветра и рассеивание загрязняющих веществ (для охвата наиболее загрязненной территории);
- характер землепользования (особое внимание направлению частного сектора);
- загрязненность поверхности почв (выявлялись участки с видимыми загрязнениями - изменения цвета почвы).

Для отбора проб почвы использовались специализированные инструменты, такие как пробоотборники, которые позволяют извлекать образцы на определенной глубине. Пробы отбирались с верхнего гумусового слоя почвы (глубина отбора 0–20 см), поскольку именно этот слой подвергается наибольшему воздействию загрязнителей и в нем располагается корневая система большинства сельскохозяйственных культур. При отборе проб руководствовались требованиями ГОСТ по контролю общего и локального загрязнения. Учитывая, что исследуемая ТЭЦ работает на мазуте, отобранные образцы исследовались аккредитованной лабораторией на содержание нефтепродуктов.

Для минимизации пространственной неоднородности грунтов и обеспечения репрезентативности данных, пробы отбирались методом «конверта»: из каждой точки отбиралось несколько субпроб (не менее 5), которые затем объединялись в одну среднюю пробу (массой не менее 1 кг). Каждая проба тщательно маркировалась с указанием точного места, глубины отбора и даты [8], [9].

Отобранные пробы помещались в чистую герметичную тару, которая позволяет исключить сторонние загрязнения или изменение свойств отобранных образцов, и передавались для анализов в лабораторию, аккредитованную в системе Росаккредитации (лаборатория вуза). При отборе проб в обязательном порядке соблюдали меры, исключающие вторичное загрязнение: использовали чистые инструменты (лопаты/пробоотборники из нержавеющей стали без следов смазки и нефтепродуктов), избегали контакт пробы с атмосферными осадками и прямыми солнечными лучами.

В лаборатории проводилось определение содержания углеводородов нефти в почвах [10], [11], [12]. Предел обнаружения метода составил 0,1 мг/кг, погрешность измерений не превышала 15%. Полномасштабный анализ сопутствующих загрязнителей (тяжелых металлов) и их миграционных форм в рамках данной работы не приводится и будет подробно раскрыт в следующих публикациях.

Результаты лабораторных исследований сопоставляли с нормативами качества почв для сельскохозяйственных угодий [10], [11], [12]. С учётом агрохимических характеристик участков оценивалась потенциальная биодоступность поллютантов для сельскохозяйственных культур. Для прогноза их накопления в продукции учитывались

коэффициенты перехода (BCF) из справочных и региональных данных, а также учитывался вид культуры (листовые, корнеплоды, зерновые) как ключевой фактор риска.

В контексте представленного исследования, особое внимание уделено определению содержания нефтепродуктов как основного показателя загрязнения, связанного с деятельностью ТЭЦ. Исследования содержания других потенциально опасных загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, оксиды серы и азота, будут более подробно раскрыты в следующих публикациях.

Данные были обработаны в среде Python (версия 3.11). Проверка нормальности распределения проводилась с помощью теста Шапиро-Уилка. Значимость различий между точками оценивалась с помощью критерия Краскела-Уоллиса. Рассчитаны коэффициент вариации и суммарный показатель загрязнения.

Основные результаты

Некоторые из полученных при проведении исследований результатов содержания загрязнений представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты анализа некоторых объединенных проб

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.1.5>

Номер точки	Нефтепродукты, мг/кг	Свинец, мг/кг	Кадмий, мг/кг	Медь, мг/кг	Цинк и никель, мг/кг	Сухой остаток, мг/кг	pH
1	1293,0	34,2	0,45	41,5	62,3	745	8,20
2	1301,2	38,9	0,51	45,8	68,1	748	8,14
3	1264,4	31,1	0,38	38,2	59,4	752	8,12
4	1186,3	28,4	0,32	35,0	55,1	763	7,98
фон	45,2	18,5	0,21	22,1	45,0	710	6,90
норматив РФ	не установлен	32,0 (ПДК)	0,5 (ОДК)	33,0 (ОДК)	55,0 /20,0	-	-

В контексте данного этапа исследований детально рассмотрено содержание нефтепродуктов как основного маркера воздействия ТЭЦ, работающей на мазуте. Приведенные в таблице 1 данные по тяжелым металлам (свинец, кадмий, медь, цинк, никель) носят справочный характер для фиксации комплексного геохимического фона. Их концентрации во всех точках не превышают установленные законодательством РФ гигиенические нормативы.

Анализ полученных данных показал, что наибольшее содержание нефтепродуктов зафиксировано в точке отбора 2 (1301,2 мг/кг), что находится на юго-западном направлении. Наименьшее содержание — в точке отбора 4 (1186,3 мг/кг). Диапазон содержания нефтепродуктов варьируется от 1186,3 до 1301,2 мг/кг. Показатель сухого остатка находится в пределах 745-763 мг/кг. Значение pH в почвах находится в слабощелочной зоне (от 7,98 до 8,2). Это в целом благоприятный диапазон для большинства почвенных процессов, однако может влиять на подвижность некоторых загрязняющих веществ.

Поскольку на федеральном уровне единая гигиеническая ПДК для нефтепродуктов в почвах законодательно не установлена, в работе применялся метод сопоставления фактических концентраций с региональными фоновыми величинами. Также проводилась экспертная оценка уровня деградации почвенной матрицы в соответствии с общепринятой в геоэкологии классификацией показателей уровня загрязнения (табл. 2) [6], [7], [10], [12], а также сравнение с фоновыми величинами и допустимыми значениями для Самарской области [13].

Таблица 2 - Классификация показателей уровня загрязненности почвы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.1.6>

Показатели, мг/кг	Уровень загрязненности
до 1000,0	допустимый уровень загрязненности
от 1000 до 2000	низкий уровень загрязненности
от 2000 до 3000	средний уровень загрязненности
от 3000 до 5000	высокий уровень загрязненности
более 5000	очень высокий уровень загрязненности

Сопоставив полученные в лаборатории данные исследований со значениями разных уровней загрязненности, можно сделать вывод, что почва на границах ТЭЦ имеет низкий уровень загрязненности. Наибольшее значение нефтепродуктов отмечается в точке отбора 2, которая находится на юго-западном направлении. Это объясняется господствующими в данном направлении ветрами Самарской области, то есть вероятнее всего происходит аэрогенное загрязнение (поскольку прямого указания на источник загрязнения нет, это остается предположением).

Однако по сравнению с фоновыми величинами и региональным нормативом содержания нефтепродуктов в почвах Самарской области (180 мг/кг).

Обсуждение

Была проведена статистическая обработка полученных лабораторных данных по содержанию нефтепродуктов. Среднее значение концентрации нефтепродуктов составило 1259,13 мг/кг, а стандартное отклонение — 52,44 мг/кг. Отношение стандартного отклонения к среднему значению (коэффициент вариации, CV) составляет приблизительно 4,16%. Такой низкий коэффициент вариации (менее 15%) свидетельствует о высокой пространственной однородности почвенного покрова в отношении изучаемого загрязнителя и подтверждает относительно стабильный площадной характер аэрогенной нагрузки.

Тест Краскела-Уоллиса показал отсутствие статистически значимых различий ($p > 0,05$) между точками 1, 2, 3 и 4, что согласуется с низкой вариативностью и подтверждает формирование единого ореола рассеивания загрязнений от ТЭЦ.

Для оценки масштаба антропогенного воздействия был рассчитан индивидуальный коэффициент концентрации вещества (Кс) относительно локального природного контроля (фоновое значение $S_{\text{фон}} = 45,2$ мг/кг). Для наиболее нагруженной точки №2 (граница примыкания к дачным участкам) коэффициент накопления составил $K_c = 28,8$. Это свидетельствует о выраженной долгосрочной аккумуляции мазутных фракций в поверхностном слое почв.

Полученные данные исключают внутренние противоречия при разграничении подходов к их интерпретации. С позиции общей геохимической классификации (табл. 2) концентрации 1186,3–1301,2 мг/кг соответствуют низкому уровню загрязнения, при котором деградация почвенной матрицы не носит критического характера. Однако с позиции целевого использования земель под огородничество выявленный уровень представляет скрытую экологическую угрозу. Локальный экологический ориентир безопасного содержания углеводородов для сельскохозяйственных почв Самарской области составляет 180 мг/кг [13]. Превышение данного порога в 7,2 раза указывает на риски транслокации мазутных компонентов в растениеводческую продукцию. Таким образом, почвы не могут быть вовлечены в оборот без предварительного снижения концентраций, что обосновывает необходимость проведения превентивной фиторемедиации.

Таким образом, комплексная интерпретация состояния почв Самарской ТЭЦ исключает внутренние противоречия при разделении подходов:

- по общему уровню техногенной нагрузки (шкала Пиковского) — низкий;
- по санитарно-эпидемиологическому критерию — допустимый;
- по экологическому критерию (сравнение с местным фоном) — сверхфоновый (превышение более чем в 25 раз);
- по хозяйственному назначению — требующий превентивной рекультивации исключительно в случае использования земель под выращивание продуктов питания (из-за рисков биоаккумуляции).

Наличие нефтепродуктов в почвах в таких концентрациях указывает на наличие продолжительного или периодически повторяющегося источника их поступления. Низкий разброс концентраций может свидетельствовать как о равномерном поступлении вещества за относительно короткий промежуток времени, так и о существовании стабильных, но не ярко выраженных источников загрязнения. Отмечено, что постоянное поступление даже малых количеств углеводородов может со временем приводить к их биоаккумуляции и общему увеличению содержания поллютанта [14], [15], [16].

Исходя из этого, рекомендуется проведение периодического экологического мониторинга, что позволит отслеживать динамику изменения уровня загрязнения, вовремя выявить возможные тренды к увеличению концентраций загрязнений, а также даст возможность произвести более точную оценку экологических рисков при возможном появлении новых источников загрязнения.

Несмотря на то, что средние концентрации нефтепродуктов превышают допустимые уровни для сельскохозяйственных угодий, потенциальный риск трансмиссии загрязняющих веществ в растения и конечную продукцию требует комплексной оценки. Такие почвы не могут быть непосредственно вовлечены в сельскохозяйственное производство без предварительной рекультивации. Обнаруженные концентрации нефтепродуктов, хотя и не приводят к полной гибели фитоценоза, способны вызывать скрытый токсический эффект и нарушать водно-воздушный режим корнеобитаемого слоя [15], [17], [21], [22]. При высоких концентрациях, нефтепродукты могут привести к полной гибели растений. Кроме того, попадание нефтепродуктов и их метаболитов в сельскохозяйственные культуры может сделать их непригодными для употребления в пищу, представляя потенциальную угрозу для здоровья человека. Таким образом, обязательная рекультивация является условием безопасного использования земель с выявленным уровнем загрязнения нефтепродуктов.

Для очистки почвы от нефтепродуктов рекомендуется применение щадящих методов биоремедиации, такие как фиторемедиация. Фиторемедиация является многообещающим экологически безопасным и экономически выгодным методом, основанным на использовании растений и ассоциированных микроорганизмов для детоксикации почв.

Из предложенных методов, фитоэкстракция с использованием люцерны (*Medicago sativa*) представляется наиболее предпочтительной для данной территории по следующим причинам.

- Глубокое проникновение корней люцерны обеспечивает доступ к загрязненным слоям почвы, способствуя физическому рыхлению, аэрации и улучшению гидрологического режима.
- Рост люцерны стимулирует активность почвенных микроорганизмов, в том числе бактерий-деструкторов, которые используют углеводороды как источник энергии, ускоряя процесс биodeградации нефтепродуктов [17], [18], [19], [21].

- Люцерна демонстрирует относительную устойчивость к присутствию нефтепродуктов, что позволяет ей активно развиваться и выполнять свою рекультивационную функцию.

- Как бобовое растение, люцерна фиксирует атмосферный азот, обогащая почву, и способствует улучшению ее структуры.

Фитоэкстракция, как часть комплексной биоремедиации, является предпочтительнее более инвазивных методов, особенно учитывая низкую пространственную вариативность и умеренную степень накопления загрязнителя. Следует также рассмотреть возможность применения других растений, способных к фиторемедиации, или комбинированных подходов для повышения эффективности процесса.

Заключение

Проведенные исследования выявили стабильный ореол рассеивания нефтепродуктов в гумусовом горизонте почв СЗЗ Самарской ТЭЦ со средним содержанием 1259,13 мг/кг. С позиции общепринятых геохимических шкал данный уровень характеризуется как низкий, однако он в 28 раз превышает местный природный фон и в 7 раз — локальный экологический ориентир для сельхозугодий Самарской области. Учитывая примыкание СЗЗ к дачным участкам, обнаруженное накопление углеводородов создает риски для качества выращиваемой продукции, что делает обязательным проведение щадящей рекультивации методом фитоэкстракции перед использованием земель под огороды.

Это подтверждается отсутствием превышений ПДК по основным атмосферным загрязнителям в расчетных точках, расположенных на границе жилой застройки. При этом важным фактором является отсутствие газоочистного оборудования на предприятии, что, в конечном счете, приводит к накоплению загрязняющих веществ на поверхности почвенного покрова.

Проведенные лабораторные исследования показали, что средний уровень загрязнения почвы нефтепродуктами составляет 1259,13 мг/кг (стандартное отклонение полученных данных составляет 52,44 мг/кг). Все точки отбора попадают в категорию «низкий уровень загрязненности» согласно используемой классификации. Однако наличие в непосредственной близости к предприятию жилой зоны с дачными участками и огородами может привести к превышению допустимых концентраций в продуктах питания, выращиваемых на них. Учитывая выявленные риски, для продолжения безопасного использования огородных участков рекомендуется провести фитоэкстракцию почв.

Целесообразно также рассмотреть поэтапное внедрение или модернизацию газоочистного оборудования на Самарской ТЭЦ. Это позволит минимизировать поступление загрязняющих веществ в атмосферу и, как следствие, их накопление в почве, что в долгосрочной перспективе снизит риски для окружающей среды и здоровья населения.

Выводы: принятие комплексных мер, включающих фитоэкстракцию почв, регулярный мониторинг, и, в перспективе, модернизацию производственных процессов предприятия, позволит обеспечить безопасное использование прилегающих территорий и минимизировать негативное воздействие на здоровье населения.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Хаустов А.П. Углеводородное загрязнение почв и грунтов: практика нормирования, проблемы и тенденции / А.П. Хаустов, М.М. Редина // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. — 2017. — № 1. — С. 3–14.
2. Меньшикова Е.А. Экологическое состояние грунтов городских территорий Пермского края / Е.А. Меньшикова, В.И. Ждакаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. — 2017. — № 4 (28). — С. 124–132.
3. Германова С.Е. Проблема загрязнения сельскохозяйственных земель нефтепродуктов и ее моделирование / С.Е. Германова, В.Г. Плющиков, Н.Б. Самброс и др. // Международный сельскохозяйственный журнал. — 2022. — № 1 (385). — С. 12–15. — DOI: 10.55186/25876740_2022_65_1_12
4. Бракоренко Н.Н. Состояние компонентов геологической среды территории АЗС и АЗК г.Томска / Н.Н. Бракоренко // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеологии Евразии. — Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. — Вып. 1. — С. 315–320.
5. Khan M.A. Polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals accumulation in soils adjacent to thermal power plants / M.A. Khan, H. Al-Saeed // Environmental Pollution. — Oxford: Elsevier Ltd, 2024. — Iss. 318. — P. 120–129. — DOI: 10.1016/j.envpol.2023.120894
6. Еремеев Е.Г. Проблемы и перспективы классификации загрязнений грунтов нефтепродуктами / Е.Г. Еремеев, А.С. Сахарова // Геоэкохимия защиты литосферы. — 2021. — № 1. — С. 53–56.
7. Гаврилин И.И. Оценка влияния нефти и нефтепродуктов на состояние растительности по показателям фитотоксичности почв / И.И. Гаврилин, А.М. Шигапов // Системы. Методы. Технологии. — 2015. — № 3 (27). — С. 144–148.
8. ГОСТ Р 58595-2019: Почвы. Отбор проб. — Введ. 2020-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2019. — 11 С.

9. ГОСТ 17.4.3.01-2017: Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. — Введ. 2019-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 8 С.
10. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. — Введ. 2019-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 12 С.
11. ГОСТ Р 54039-2010: Качество почв. Экспресс-метод спектроскопии в ближней инфракрасной области для определения содержания нефтепродуктов. — Введ. 2012-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 9 С.
12. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. — Введ. 2021-01-29. — Москва: ТЕХНОФОРМ, 2021. — 468 С.
13. Воробьева К.Ю. Известия Самарского научного центра РАН / К.Ю. Воробьева, Н.В. Прохорова // Бенз(а)пирен и нефтепродукты в почвенном покрове населенных пунктов разного статуса в Самарской области. — 2017. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/benz-a-piren-i-nefteprodukty-v-pochvennom-pokrove-naselennyh-punktov-raznogo-statusa-v-samarskoy-oblasti> (дата обращения: 30.07.26)
14. Шувалов Ю.В. Очистка грунтов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами / Ю.В. Шувалов, Е.А. Синькова, Д.Н. Кузьмин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2004. — № 12. — С. 107–117.
15. Гончаров И.Н. Снижение неблагоприятных последствий при загрязнении техносферы нефтепродуктами / И.Н. Гончаров, Е.В. Володина, С.Е. Гераськова // Управление качеством в образовании и промышленности. — 2017. — № 1. — С. 39–43.
16. Павлов С.А. Применение методов восстановления грунтов, загрязненных нефтепродуктами / С.А. Павлов, Н.В. Шершнева, Н.М. Андрюхов // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. — Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2020.
17. Порхунцова О.А. Микробно растительная ассоциация как эффективный фиторемедиант загрязненных нефтепродуктами почв / О.А. Порхунцова, В.И. Бушуев, А.А. Федоренчик и др. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2015. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrobnno-rastitelnaya-assotsiatsiya-kak-effektivnyy-fitoremediant-zagryaznennyh-nefteproduktami-pochv> (дата обращения: 01.07.26).
18. Степанова А.Ю. Получение трансгенных растений люцерны посевной для повышения эффективности фиторемедиации нефтезагрязненных почв / А.Ю. Степанова, Е.В. Орлова, Д.В. Терешонок // Экологическая генетика. — 2015. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-transgennyh-rasteniy-lyutserny-posevnoy-medicagosativa-l-dlya-povysheniya-effektivnosti-fitoremediatsii> (дата обращения: 01.07.26).
19. Артюхин В.Г. Очистка загрязненных нефтепродуктами грунтов с помощью биопрепаратов и микроорганизмов / В.Г. Артюхин, В.П. Подольский, О.В. Рябова // Мир дорог. — 2020. — № 129-130. — С. 105–108.
20. Драгунов А.Ф. Биоремедиация загрязненных почв / А.Ф. Драгунов, М.В. Васина // Актуальные вопросы энергетики. — Омск: Омский государственный технический университет, 2021. — Вып. 1. — С. 154–158.
21. Chen L. Enhanced phytoremediation of petroleum-contaminated soils using *Medicago sativa* / L. Chen, X. Wang, Y. Zhang // Mechanisms of root-microbe interactions. Journal of Hazardous Materials. — Amsterdam: Elsevier, 2025. — Iss. 465. — P. 133–142. — DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.133142.
22. Плешакова Е.В. Мониторинг и биоремедиация техногенно-загрязненных почв в районах промышленных объектов / Е.В. Плешакова, М.В. Решетников // Экология и промышленность России. — Москва: Калвис, 2025. — С. 35–39. — DOI: 10.18412/1816-0395-2025-3-34-39

Список литературы на английском языке / References in English

1. Khaustov A.P. Uglevodorodnoe zagryaznenie pochv i gruntov: praktika normirovaniya, problemy i tendentsii [Hydrocarbon Pollution of Soils and Substrates: Regulatory Practices, Problems, and Trends] / A.P. Khaustov, M.M. Redina // Geocology, engineering geology, hydrogeology, and geocryology. — 2017. — № 1. — P. 3–14. [in Russian]
2. Men'shikova E.A. Ekologicheskoe sostoyanie gruntov gorodskikh territorij Permskogo kraja [Environmental conditions of urban soils in the Perm Territory] / E.A. Men'shikova, V.I. Zhdakaev // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urbanistics. — 2017. — № 4 (28). — P. 124–132. [in Russian]
3. Germanova S.E. Problema zagryazneniya sel'skoxozyajstvennyx zemel' nefteproduktov i ee modelirovanie [The problem of oil pollution of agricultural land and its modeling] / S.E. Germanova, V.G. Plyushnikov, N.B. Sambros et al. // International Agricultural Journal. — 2022. — № 1 (385). — P. 12–15. — DOI: 10.55186/25876740_2022_65_1_12 [in Russian]
4. Brakorenko N.N. Sostoyanie komponentov geologicheskoi sredi territorii AZS i AZK g.Tomska [State of the geological environment components of the territory of gas stations and filling stations in Tomsk] / N.N. Brakorenko // Modern Problems of Hydrogeology, Engineering Geology, and Hydrogeology of Eurasia. — Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2015. — Iss. 1. — P. 315–320. [in Russian]
5. Khan M.A. Polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals accumulation in soils adjacent to thermal power plants / M.A. Khan, H. Al-Saeed // Environmental Pollution. — Oxford: Elsevier Ltd, 2024. — Iss. 318. — P. 120–129. — DOI: 10.1016/j.envpol.2023.120894
6. Ereemeev E.G. Problemy i perspektivy klassifikatsii zagryaznenij gruntov nefteproduktami [Problems and Prospects of Soil Contamination Classification by Petroleum Products] / E.G. Ereemeev, A.S. Saxarova // Geoecology of lithosphere protection. — 2021. — № 1. — P. 53–56. [in Russian]
7. Gavrilin I.I. Ocenka vliyaniya nefi i nefteproduktov na sostoyanie rastitel'nosti po pokazatelyam fitotoksichnosti pochv [Assessment of the impact of oil and petroleum products on vegetation based on soil phytotoxicity indicators] / I.I. Gavrilin, A.M. Shigapov // The system. Methods. Technologies. — 2015. — № 3 (27). — P. 144–148. [in Russian]



8. GOST R 58595-2019: Pochvy'. Otbor prob [Soils. Sampling]. — Introduced 2020-01-01. — Moscow: Standartinform, 2019. — 11 P. [in Russian]
9. GOST 17.4.3.01-2017: Oхрана природы'. Pochvy'. Obshhie trebovaniya k otboru prob [Nature protection. Soils. General requirement for sampling]. — Introduced 2019-01-01. — Moscow: Standartinform, 2018. — 8 P. [in Russian]
10. GOST 17.4.4.02-2017. Oхрана природы'. Pochvy'. Metody' otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza [Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation of soil for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. — Introduced 2019-01-01. — Moscow: Standartinform, 2018. — 12 P. [in Russian]
11. GOST R 54039-2010: Kachestvo pochv. E'kspress-metod spektroskopii v blizhnej infrakrasnoj oblasti dlya opredeleniya soderzhaniya nefteproduktov [Soil quality. Rapid near-infrared spectroscopic method for the determination of oil products.]. — Introduced 2012-01-01. — Moscow: Standartinform, 2018. — 9 P. [in Russian]
12. SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy' i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy' obitaniya [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans]. — Introduced 2021-01-29. — Moscow: TEXNOFORM, 2021. — 468 P. [in Russian]
13. Vorobeva K.Yu. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences] / K.Yu. Vorobeva, N.V. Prokhorova // Benz(a)piren i nefteprodukty v pochvennom pokrove naselennykh punktov raznogo statusa v Samarskoi oblasti [Benzo(a)pyrene and petroleum products in the soil cover of settlements of various statuses in the Samara Region]. — 2017. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/benz-a-piren-i-nefteprodukty-v-pochvennom-pokrove-naselennykh-punktov-raznogo-statusa-v-samarskoy-oblasti> (accessed: 30.07.26) [in Russian]
14. Shuvalov Yu.V. Ochistka gruntov ot zagryazneniya nef'tyu i nefteproduktami [Cleaning soils from oil and petroleum products contamination] / Yu.V. Shuvalov, E.A. Sin'kova, D.N. Kuz'min // Mining Information and Analytical Bulletin. — 2004. — № 12. — P. 107–117. [in Russian]
15. Goncharov I.N. Snizhenie neblagopriyatny'x posledstvij pri zagryaznenii tekhnosfery' nefteproduktami [Reducing the adverse effects of oil pollution in the technosphere] / I.N. Goncharov, E.V. Volodina, S.E. Geras'kova // Quality management in education and industry. — 2017. — № 1. — P. 39–43. [in Russian]
16. Pavlov S.A. Primenenie metodov vosstanovleniya gruntov, zagryaznennikh nefteproduktami [Application of methods for restoring soils contaminated with petroleum products] / S.A. Pavlov, N.V. Shershnev, N.M. Andryukhov // Obrazovanie. Transport. Innovatsii. Stroitel'stvo [Education. Transportation. Innovation. Construction]. — Omsk: Siberian State Automobile and Road University, 2020. [in Russian]
17. Porxunczova O.A. Mikrobno rastitel'naya asociaciya kak e'ffektivny'j fitoremediant zagryaznenny'x nefteproduktami pochv [Microbial and plant associations as an effective phytoremediant for oil-contaminated soils] / O.A. Porxunczova, V.I. Bushuev, A.A. Fedorenchik et al. // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. — 2015. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrobno-rastitelnaya-assotsiatsiya-kak-effektivnyy-fitoremediant-zagryaznennykh-nefteproduktami-pochv> (accessed: 01.07.26). [in Russian]
18. Stepanova A.Yu. Poluchenie transgenny'x rastenij lyucerny' posevnoj dlya povysheniya e'ffektivnosti fitoremediatsii neftezagryaznenny'x pochv [Production of transgenic alfalfa plants to increase the efficiency of phytoremediation of oil-contaminated soils] / A.Yu. Stepanova, E.V. Orlova, D.V. Tereshonok // Ecological Genetics. — 2015. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-transgennykh-rasteniy-lyutserny-posevnoy-medicago-sativa-l-dlya-povysheniya-effektivnosti-fitoremediatsii> (accessed: 01.07.26). [in Russian]
19. Artyuxin V.G. Ochistka zagryaznenny'x nefteproduktami gruntov s pomosh'h'yu biopreparatov i mikroorganizmov [Cleaning oil-contaminated soils using biological products and microorganisms] / V.G. Artyuxin, V.P. Podol'skij, O.V. Ryabova // The World of Roads. — 2020. — № 129-130. — P. 105–108. [in Russian]
20. Dragunov A.F. Bioremeditsiya zagryaznennikh pochv [Bioremediation of polluted soils] / A.F. Dragunov, M.V. Vasina // Aktualnye voprosy energetiki [Current Issues of Energetics]. — Omsk: Omsk State Technical University, 2021. — Iss. 1. — P. 154–158. [in Russian]
21. Chen L. Enhanced phytoremediation of petroleum-contaminated soils using *Medicago sativa* / L. Chen, X. Wang, Y. Zhang // Mechanisms of root-microbe interactions. Journal of Hazardous Materials. — Amsterdam: Elsevier, 2025. — Iss. 465. — P. 133–142. — DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.133142.
22. Pleshakova Ye.V. Monitoring i bioremeditsiya tekhnogenno-zagryaznennikh pochv v raionakh promishlennikh obektov [Monitoring and Bioremediation of Technogenically Contaminated Soils in the Areas of Industrial Facilities] / Ye.V. Pleshakova, M.V. Reshetnikov // Ekologiya i promishlennost Rossii [Ecology and Industry of Russia]. — Moscow: Kalvis, 2025. — P. 35–39. — DOI: 10.18412/1816-0395-2025-3-34-39 [in Russian]