

УДК 504.064

Н. В. Грачева, В. Ф. Желтобрюхов, Н. А. Селезнева, Н. О. Сиволобова

Волгоградский государственный технический университет

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ И ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВОПОДОБНОЙ ФРАКЦИИ СО СВАЛОК

Представлены результаты оценки уровня загрязнения почвоподобной фракции со свалок с использованием детерминированного и вероятностного подходов на основе квантильного анализа. Показано, что использование квантильного анализа позволяет дифференцированно определить уровни загрязнения и их вероятности, в то время как детерминированный подход может приводить к заниженным или завышенным результатам. Вероятностный подход может быть полезен для обоснования дифференцированных методов обращения с почвоподобной фракцией при ликвидации свалок.

Ключевые слова: свалка, почвоподобная фракция, уровень загрязнения, квантильный анализ.

Введение

Ликвидация свалок является одной из приоритетных задач повышения качества окружающей среды (ОС) и достижения целей устойчивого развития. Основной проблемой при этом являются значительные объемы накопленных отходов и ограниченные производственные мощности действующих полигонов. Строительство новых полигонов не отвечает требованиям обеспечения экологической безопасности, поскольку согласно критериям отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на ОС, к объектам I, II, III и IV категорий, действующие полигоны относятся к I и II категориям. И даже после полного выполнения работ по ликвидации и (или) рекультивации, исключающих негативное воздействие на ОС, до снятия с государственного учета объектов, оказывающих негативное воздействие на ОС, полигоны относятся к объектам III категории. Поэтому решение вопросов эффективного обращения с отходами со свалок является актуальным и необходимым.

Несмотря на имеющийся положительный опыт выделения из свалочных масс таких ценных компонентов, как пластмасса, стекло, энергетические фракции и др. [1, 2], их добыча на свалках может быть рентабельной только в случае достаточных объемов ресурсных компонентов и возможности эффективного их разделения с обеспечением высокого качества получаемых материалов [2—4]. Наиболее перспективной частью свалочных масс для выделения и использования является почвоподобная фракция, доля которой составляет от 40 до 80 % на старых свалках и полигонах [1—3, 5]. Почвоподобная фракция представляет собой сложное антропогенное образование, состоящее из разложившихся органических материалов и минеральных компонентов, включающих мелкую фракцию строительных отходов, а также глину, суглинки, песок и другие материалы, используемые для пересыпки отходов, с размером частиц менее 4 мм [6, 7]. Ограничением к использованию почвоподобной фракции является ее потенциальное загрязнение тяжелыми металлами (ТМ), мышьяком, нефтепродуктами, бенз[а]пиреном в случае подземного тления свалочных масс и другими поллютантами [6, 8—11].

От точности оценки уровня загрязнения и опасности почвоподобной фракции со свалок зависит возможность и безопасность ее использования. Обычно при оценке загрязнения почвогрунтов со свалок используют детерминированный подход, применяя в качестве центрального тренда, отражающего общий уровень загрязнения, наиболее вероятные значения концентраций поллютантов — средние значения. Но распределение поллютантов в свалочных массах неравномерно и неопределенно и зависит от многих факторов [2, 4, 5]. Поэтому средние значения не всегда отражают центральную тенденцию, а расчет на их основе показателей загрязнения может приводить к ошибочному завышенному или заниженному результату.

В то же время с помощью вероятностного подхода при оценке загрязнения почвоподобной фракции ТМ с использованием квантильного анализа выявлено несколько уровней ее загрязнения и установлена вероятность каждого уровня загрязнения почвоподобной фракции [8], что позволило определить возможные направления обращения с материалом при ликвидации свалки: детоксикация и использование или размещение на полигоне.

Квантильный анализ позволяет интерпретировать данные на основе статистических принципов, поскольку квантили делят весь набор данных на равные части по вероятности и указывают долю наблюдений, значение которых меньше или равно заданному квантилю. Достоинствами квантильного анализа является возможность анализировать как симметричные, так и асимметричные распределения данных, поскольку при этом не учитывается форма и тип распределения данных, а также большая устойчивость к выбросам по сравнению со средними значениями (среднее арифметическое, медиана).

Цель исследования — оценка уровня загрязнения почвоподобной фракции с применением детерминированного подхода на основе средних значений и вероятностного подхода с использованием квантильного анализа значений интегрального индекса H_c .

Материалы и методы

Объектом исследования являлась почвоподобная фракция со свалок, расположенных в зоне южного и северного промышленных узлов Волгограда. Свалка 1 располагается на окраине Красноармейского района, свалка 2 — на окраине Тракторозаводского района. На свалке 1 отобрано 12 проб со всей территории [12], на свалке 2 — 20 проб со всей территории за исключением участка с отстойниками нефтешламов [13]. Характеристики свалок, данные по содержанию валовых форм ТМ (кадмий Cd, медь Cu, цинк Zn, свинец Pb, никель Ni, ртуть Hg) в почвоподобной фракции с этих свалок представлены в работах Н. В. Грачевой (2023), Н. А. Селезновой и др. (2024) [12—14].

В соответствии с результатами инженерно-геологических изысканий основание тела свалки 1 сложено неогеновыми песками, а свалки 2 — делювиальными отложениями, представленными коричневыми суглинками [12—14].

Кроме ТМ в почвоподобной фракции определено содержание нефтепродуктов, бенз[а]пирена и мышьяка (As). Содержание нефтепродуктов в почвоподобной фракции со свалки 1 изменялось от 52 мг/кг до 221 мг/кг, содержание нефтепродуктов в почвоподобной фракции со свалки 2 — от 28 мг/кг до 451 мг/кг. Предельно допустимые концентрации (ПДК) для нефтепродуктов в настоящее время не определены в нормативно-технической документации.

Для оценки ущерба от загрязнения почвы нефтепродуктами чаще всего используются пороговые уровни концентрации (ориентировочно допустимые концентрации, ОДК), рекомендованные нормативным документом от 27.12.1993 «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами»¹, в соответствии с которым допустимой принимается концентрация нефтепродуктов менее 1000 мг/кг. Согласно полученным результатам, содержание As, Hg, Zn, Pb, бенз[а]пирена и нефтепродуктов в почвоподобной фракции с обеих свалок было значительно ниже ПДК/ОДК, и далее эти загрязнители не рассматриваются.

Все пробы почвоподобной фракции (почвогрунтов) отобраны и проанализированы аккредитованной лабораторией — испытательным центром ООО по Волгоградской области «ЦЭК» (г. Волгоград).

Уровень загрязнения почвогрунтов оценивали в соответствии с ГОСТ 17.4.3.06—2020² по суммарному показателю химического загрязнения H_c , который определяется по формуле [15]:

$$H_c = \sum \frac{c_i}{c_{\text{ПДК}}} - (n - 1),$$

где $c/c_{\text{ПДК}}$ — коэффициент концентрации загрязнения; c_i — фактическое содержание i -го загрязняющего вещества в почве; $c_{\text{ПДК}}$ — предельно допустимые и ориентировочно допустимые концентрации i -го загрязняющего вещества в почве; n — число элементов, превышающих ПДК/ОДК.

ПДК и ОДК металлов в работе приняты в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21³ с учетом типа грунтов основания свалки: песчаных для свалки 1 и суглинистых для свалки 2.

Оценочная шкала уровня загрязнения почв приведена согласно ГОСТ 17.4.3.06—2020 в табл. 1.

В расчетах использовались средние значения содержания загрязняющих веществ, имеющих превышение нормативных значений хотя бы в одной из проб. В качестве среднего значения концентрации использовали значения среднего арифметического, среднего геометрического и медианы. При вероятностном подходе H_c рассчитывали для каждой пробы.

Вероятностная оценка уровня загрязнения почвоподобной фракции рассчитывалась с помощью формулы процентного ранга для набора данных рассчитанных значений H_c .

Функция ПРОЦЕНТРАНГ возвращает категорию значения в наборе данных как процентное содержание в этом наборе данных. С помощью функции ПРОЦЕНТРАНГ оценивалось положение реперного (контрольного) значения среди всех экспериментальных данных. В качестве контрольных значений

¹ Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. Письмо Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ от 27.12.1993. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9033369?ysclid=mc5xyxf7w677942076>.

² ГОСТ 17.4.3.06—2020. Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566323128>.

³ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: постановление главного государственного санитарного врача РФ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>.

для оценки качества почвоподобной фракции использовались референсные значения H_c (16, 32, 128). ПРОЦЕНТРАНГ показывает, к какой процентильной группе относится анализируемое значение. Процентиль при этом представляет значение, которое заданная случайная величина не превышает с фиксированной вероятностью при уровне значимости $p < 0,05$.

Таблица 1

Оценочная шкала по суммарному показателю H_c

| Значение показателя H_c | Уровень загрязнения | Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения |
|---------------------------|---------------------|--|
| < 16 | Допустимый | Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений |
| 16...32 | Умеренно опасный | Увеличение общей заболеваемости |
| 32...128 | Опасный | Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы |
| > 128 | Чрезвычайно опасный | Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикозов беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных) |

Результаты и обсуждение

В таблице 2 представлена описательная статистика результатов определения концентраций загрязняющих веществ в почвоподобной фракции с исследуемых свалок.

Таблица 2

Описательная статистика

| Показатель | Свалка 1 | | | Свалка 2 | | |
|----------------------------------|----------|------|------|----------|-------|-------|
| | Cd | Ni | Cu | Cd | Ni | Cu |
| Максимальная концентрация, мг/кг | 9,7 | 72,1 | 60,2 | 86,5 | 142,0 | 132,0 |
| Минимальная концентрация, мг/кг | 0,24 | 0,93 | 21,3 | 0,66 | 3,3 | 21,4 |
| Среднеарифметическое | 7,39 | 39,9 | 58,7 | 63,5 | 67,4 | 78,7 |
| Среднегеометрическое | 7,27 | 37,4 | 58,4 | 36,7 | 46,09 | 63,5 |
| Медиана | 6,96 | 32,4 | 57,4 | 70,5 | 59,25 | 81,15 |
| Асимметрия | 0,51 | 0,29 | 1,11 | -1,4 | 0,29 | -0,48 |
| Коэффициент вариации | 0,18 | 0,36 | 0,11 | 0,45 | 0,57 | 0,48 |

Согласно данным табл. 2, концентрации ТМ изменялись в широком диапазоне. Кривые распределения имеют незначительную асимметрию на обеих свалках. При этом медианные и среднеарифметические значения концентраций для Cd и Cu на свалке 1 близки, что указывает на близкое к нормальному распределение этих элементов в почвоподобной фракции. На свалке 2 для

всех элементов и на свалке 1 для Ni медианные и среднеарифметические значения имеют значительные отличия, что свидетельствует о большем отклонении кривых распределения от нормального. Значения коэффициента вариации для Ni на свалке 1 и всех металлов на свалке 2 превышали 0,33, что указывает на неоднородность исследуемых образцов. Неравномерность распределения ТМ в почвоподобной фракции обусловлена различным типом отходов и различными местами их размещения [5, 6, 10, 11].

В таблице 3 представлены коэффициенты концентрации загрязнения ТМ для почвоподобной фракции, рассчитанные для всех элементов во всех отобранных образцах.

Таблица 3

Значения коэффициентов концентрации загрязнения тяжелыми металлами для почвоподобной фракции

| № образца | Свалка 1 | | | Свалка 2 | | |
|------------------------|----------|------|------|----------|------|------|
| | Cd | Ni | Cu | Cd | Ni | Cu |
| 1 | 19,40 | 1,82 | 2,66 | 43,25 | 0,89 | 0,74 |
| 2 | 16,84 | 1,70 | 2,74 | 34,25 | 0,85 | 0,69 |
| 3 | 19,20 | 1,67 | 2,61 | 49,50 | 0,68 | 0,74 |
| 4 | 16,24 | 1,57 | 2,59 | 41,00 | 0,55 | 0,66 |
| 5 | 14,00 | 0,97 | 3,01 | 35,00 | 0,08 | 0,97 |
| 6 | 13,26 | 0,85 | 2,87 | 29,50 | 0,83 | 0,75 |
| 7 | 12,08 | 0,76 | 3,61 | 42,00 | 0,50 | 0,73 |
| 8 | 11,16 | 0,65 | 3,48 | 35,50 | 0,46 | 1,54 |
| 9 | 13,84 | 0,82 | 2,87 | 42,50 | 1,00 | 1,45 |
| 10 | 16,54 | 1,74 | 2,74 | 37,50 | 0,91 | 0,75 |
| 11 | 12,20 | 0,99 | 3,02 | 34,50 | 0,64 | 1,78 |
| 12 | 12,62 | 0,94 | 3,05 | 28,00 | 0,45 | 1,74 |
| 13 | — | — | — | 42,15 | 0,79 | 0,72 |
| 14 | — | — | — | 0,37 | 0,16 | 0,04 |
| 15 | — | — | — | 38,45 | 0,47 | 0,74 |
| 16 | — | — | — | 39,70 | 0,92 | 1,21 |
| 17 | — | — | — | 0,33 | 0,21 | 0,12 |
| 18 | — | — | — | 32,05 | 0,86 | 0,69 |
| 19 | — | — | — | 0,37 | 0,06 | 0,01 |
| 20 | — | — | — | 29,35 | 0,62 | 0,78 |
| Среднее арифметическое | 14,78 | 1,21 | 2,94 | 31,76 | 0,60 | 0,84 |
| Медиана | 13,92 | 0,98 | 2,87 | 35,25 | 0,63 | 0,74 |
| Среднее геометрическое | 14,55 | 1,13 | 2,92 | 18,37 | 0,48 | 0,58 |

Согласно представленным данным, Cd является основным источником опасности в почвоподобной фракции. Рассчитанные для Cd коэффициенты концентрации указывают на превышение ПДК в среднем в 14...35 раз. Содержание Ni и Cu на свалке 2 незначительно превышает ПДК в некоторых образцах. Содержание этих же элементов на свалке 1 изменяется от 0,65 до 1,82 ПДК для Ni и от 2,59 до 3,61 ПДК для Cu.

Поскольку загрязнение многоэлементное, показатель H_c дает более объективную оценку. В таблице 4 представлены значения индекса H_c , рассчитанные на основе средних концентраций. Для свалки 1 определены близкие средние значения индекса H_c , которые соответствуют допустимому уровню загрязнения почвоподобной фракции (см. табл. 1). Этот уровень загрязнения характеризуется низкой заболеваемостью детей и минимальной частотой встречаемости функциональных отклонений. Для свалки 2 значения индекса H_c значительно отличаются и соответствуют умеренно опасному уровню загрязнения при расчете по среднему геометрическому и среднему арифметическому значениям концентрации и опасному при использовании значения медианы в качестве центрального тренда. При этом в первом случае среди неблагоприятных последствий наблюдается увеличение общей заболеваемости по сравнению с последствиями при допустимом уровне загрязнения, а во втором случае — увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями и нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы (см. табл. 1). Соответственно, для обеспечения безопасности методы обращения с почвоподобными фракциями, имеющими различный уровень загрязнения, должны отличаться.

Таблица 4

Значения интегрального индекса комплексного загрязнения H_c

| № образца | Свалка 1 | Свалка 2 |
|------------------------|----------|----------|
| 1 | 21,89 | 42,88 |
| 2 | 19,28 | 33,79 |
| 3 | 21,47 | 48,92 |
| 4 | 18,39 | 40,21 |
| 5 | 15,98 | 34,06 |
| 6 | 14,98 | 29,08 |
| 7 | 14,45 | 41,23 |
| 8 | 13,28 | 35,50 |
| 9 | 15,53 | 42,95 |
| 10 | 19,01 | 37,16 |
| 11 | 14,21 | 34,92 |
| 12 | 14,61 | 28,18 |
| 13 | — | 41,65 |
| 14 | — | -1,43 |
| 15 | — | 37,66 |
| 16 | — | 39,83 |
| 17 | — | -1,34 |
| 18 | — | 31,61 |
| 19 | — | -1,56 |
| 20 | — | 28,74 |
| Среднее арифметическое | 14 | 32 |
| Медиана | 13 | 35 |
| Среднее геометрическое | 14 | 19 |

Более точную оценку можно получить, используя квантильный анализ данных, представленных в табл. 4. Как видно из табл. 4, уровень загрязнения

почвоподобной фракции на свалке 1 изменяется от допустимого до умеренно опасного, на свалке 2 — от незагрязненного (отрицательные значения) до опасного. В таблице 5 представлены вероятности референсных значений интегрального индекса комплексного загрязнения H_c , соответствующих допустимому, умеренно опасному и опасному уровням загрязнения.

Таблица 5

Вероятности референсных значений интегрального индекса комплексного загрязнения H_c

| Показатель | Референсные значения | Вероятность | |
|------------|----------------------|-------------|----------|
| | | Свалка 1 | Свалка 2 |
| H_c | 16 | 0,55 | 0,136 |
| | 32 | 1 | 0,325 |
| | 128 | — | 1 |

Согласно полученным данным, уровень загрязнения почвоподобной фракции на свалке 1 соответствует допустимому с вероятностью 0,55 и умеренно опасному с вероятностью 0,45. Вся почвоподобная фракция потенциально может быть использована для отсыпки котлованов и выемок, на участках озеленения с подсыпкой слоя чистого грунта не менее 0,2 м. В обязательном порядке при этом необходимо предусмотреть мероприятия по предварительному снижению содержания Cd, которые могут включать в себя промывку химическими реагентами, агромелиоративные мероприятия или фиторемедиацию [15, 16]. На свалке 2 с вероятностью 0,675 уровень загрязнения соответствует опасному, и только с вероятностью 0,325 уровень загрязнения не выше умеренно опасного. Использование почвоподобной фракции с опасным уровнем загрязнения несет высокие экологические риски и экономические затраты при условии проведения глубокой детоксикации. Возможно использование данного материала в качестве грунта для покрытия отходов на полигоне. В то же время почвоподобная фракция с умеренно опасным и допустимым уровнем загрязнения может быть использована при условии проведения детоксикационных мероприятий. Для эффективного управления необходимо на стадии инженерно-экологических изысканий определить участки свалочного тела, требующие различного подхода в обращении с почвоподобной фракцией [8].

Заключение

В данном исследовании для оценки уровня загрязнения почвоподобной фракции использованы детерминированный и вероятностный, основанный на квантильном анализе индексов загрязнения, подходы. Показано, что детерминированная оценка не всегда отражает центральный тренд и может приводить к заниженным или завышенным результатам. С помощью квантильного анализа установлено, что почвоподобная фракция загрязнена неравномерно и описывается несколькими уровнями загрязнения, которые вызывают различные экологические риски и риски здоровью. Оценка суммарного загрязнения почвоподобной фракции со свалки 1 показала ее допустимое и умеренно опасное загрязнение с вероятностью 0,55 и 0,45, соответственно. Использование этого материала возможно с обязательным проведением детоксикации

для обеспечения экологической безопасности. На свалке 2 с вероятностью 0,675 уровень загрязнения соответствует опасному. Использование почвоподобной фракции с опасным уровнем загрязнения несет высокие экологические риски и экономические затраты при условии проведения глубокой детоксикации. Возможно использование данного материала в качестве грунта для покрытия отходов на полигоне. Почвоподобная фракция с уровнем не выше умеренно опасного может использоваться при условии проведения эффективных детоксикационных мероприятий. Ее доля составляет 0,325 от общего объема. В данной работе вопросы геопространственного моделирования распределения загрязнения не рассматривались. Однако для эффективного обращения с почвоподобной фракцией необходимо на стадии инженерно-экологических изысканий определить участки свалочного тела с различным уровнем загрязнения. Данный подход может быть полезен для расчета и оценки уровня загрязнения почвоподобной фракции и обоснования дифференцированных методов обращения с ней при разработке проектов ликвидации свалок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ortner M. E, Knapp J., Bockreis A.* Landfill mining: objectives and assessment challenges // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Waste and Resource Management*. 2014. Vol. 167. Iss. 2. Pp. 51—61. DOI: 10.1680/warm.13.00012.
2. Recycling of aged refuse from a closed landfill / Y. Zhao, L. Song, R. Huang, L. Song, X. Li // *Waste Management and Research*. 2007. Vol. 25. Iss. 2. Pp. 130—138.
3. *Kurian J., Esakku S., Palanivelu K., Selvam A.* Studies on landfill mining at solid waste dumpsites in India // *Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. Margherita di Pula, Cagliari, Sardinia, Italy, 2003.
4. *Rosendal R.* Landfill Mining — Process, Feasibility, Economy, Benefits and Limitations. Reno Sam, København, 2009. URL: <https://www.researchgate.net/publication/287210621>.
5. *Hölzle I.* Vom Deponierückbau bis zum landfill mining — eine Synthese internationaler Untersuchungen // *Österr Wasser- und Abfallw.* 2010. Vol. 62. Pp. 155—161. DOI: 10.1007/s00506-010-0200-7.
6. *Hogland W.* Remediation of an old landfill: soil analysis, leachate quality and gas production // *Environmental Science & Pollution Research International*. 2002. Vol. 1. Pp. 49—54.
7. *Chandana N., Goli V. S. N. S., Mohammad A., Arif S. D.* Characterization and Utilization of Landfill-Mined-Soil-Like-Fractions (LFMSF) for Sustainable Development: A Critical Appraisal // *Waste and Biomass Valorization*. 2021. Vol. 12. Pp. 641—662. DOI: 10.1007/s12649-020-01052-y.
8. *Gracheva N., Khantimirova S., Zheltobryukhov V.* A new approach for the assessment of the environmental risk of a soil-like fraction in landfills due to PTE contamination // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024. Vol. 196. Iss. 10. P. 904. DOI 10.1007/s10661-024-13084-1.
9. *Somani M., Datta M., Ramana G. V., Sreekrishnan T. R.* Investigations on fine fraction of aged municipal solid waste recovered through landfill mining: Case study of three dumpsites from India // *Waste Management and Research*. 2021. Vol. 36. Iss. 8. Pp. 744—755. DOI: 10.1177/0734242X18782393.
10. *Mönkäre T. J., Palmroth M. R., Rintala J. A.* Characterization of fine fraction mined from two Finnish landfills // *Waste Management*. 2016. Vol. 47. Pt. A. Pp. 34—39. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.02.034.
11. Characterization of excavated fine fraction and waste composition from a Swedish landfill / Y. Jani, F. Kaczala, C. Marchand, M. Hogland, M. Kriipsalu, W. Hogland, A. Kihl // *Waste Management and Research*. 2016. Vol. 34. Iss. 12. Pp. 1292—1299. DOI: 10.1177/0734242X16670000.
12. *Gracheva N. V.* Heavy metal content in soil-like fractions on the landfills within Volgograd boundaries and assessment of health risk connected to its presence in the environment // *Environ Geochem Health* 45. 2023. Pp. 5025—5038 URL: 10.1007/s10653-023-01554-3.
13. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почвоподобной фракции свалки в границах северного промышленного узла Волгограда / Н. А. Селезнева, В. Ф. Желтобрюхов,

Н. В. Грачева, С. Б. Хантимирова, О. А. Мишустин, А. А. Околелова, И. М. Дородникова // Инженерный вестник Дона. 2023. № 4. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8317>.

14. Селезнева Н. А., Желтобрюхов В. Ф., Грачева Н. В. Оценка уровня негативного воздействия на окружающую среду накопленных отходов несанкционированной свалки на территории города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 3(96). С. 184—195.

15. Comparison of the feasibility of different washing solutions for combined soil washing and phytoremediation for the detoxification of cadmium (Cd) and zinc (Zn) in contaminated soil / R. Xiao, A. Ali, P. Wang, R. Li, X. Tian, Z. Zhang // Chemosphere. 2019. Vol. 230. Pp. 510—518. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.121.

16. Assortment of herbaceous plants for remediation of soils contaminated with oil products and heavy metals / E. E. Nefed'eva, G. A. Sevriukova, V. F. Zheltobryukhov, N. V. Gracheva, A. Yu. A. Abdulbas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conference proceedings. 2019. Vol. 421. P. 62008. DOI: 10.1088/1755-1315/421/6/062008.

© Грачева Н. В., Желтобрюхов В. Ф., Селезнева Н. А., Сиволобова Н. О., 2025

Поступила в редакцию
07.04.2025

Ссылка для цитирования:

Грачева Н. В., Желтобрюхов В. Ф., Селезнева Н. А., Сиволобова Н. О. Вероятностный и детерминированный подход к оценке уровня загрязнения почвоподобной фракции со свалок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 2(99). С. 231—240. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_231.

Об авторах:

Грачева Наталья Владимировна — доц. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28; gracheva.tasha@yandex.ru

Желтобрюхов Владимир Федорович — проф., зав. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28; z_vl_f@mail.ru

Селезнева Наталия Алексеевна — ассистент каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28; seleznyova1994@yandex.ru

Сиволобова Наталья Олеговна — доц. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28; svlbva.n@inbox.ru

**Natal'ya V. Gracheva, Vladimir F. Zheltobryukhov, Nataliya A. Selezneva,
Natal'ya O. Sivolobova**

Volgograd State Technical University

PROBABILISTIC AND DETERMINISTIC APPROACH TO ASSESSING THE LEVEL OF CONTAMINATION OF SOIL-LIKE FRACTION FROM LANDFILLS

The present paper sets out the results of an investigation into the estimation of the pollution level of the soil-like fraction from landfills. The investigation was conducted using a deterministic and probabilistic approach based on quantile analysis, and the results obtained demonstrate that the use of quantile analysis allows for the differentiated determination of pollution levels and their probabilities. In contrast, the deterministic approach has the potential to lead to under- or overestimated results. The approach is beneficial in justifying differentiated management for soil-like fractions in the context of landfill liquidation projects.

Key words: landfill, soil-like fraction, pollution level, quantile analysis.

For citation:

Gracheva N. V., Zheltobryuhov V. F., Selezneva N. A., Sivolobova N. O. [Probabilistic and deterministic approach to assessing the level of contamination of soil-like fraction from landfills]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 2, pp. 231—240. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_231.

About authors:

Natal'ya V. Gracheva — Docent of Industrial Ecology and Life Safety Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; gracheva.tasha@yandex.ru

Vladimir F. Zheltobryuhov — Professor, Head of Industrial Ecology and Life Safety Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Nataliya A. Selezneva — Assistant of Industrial Ecology and Life Safety Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; seleznyova1994@yandex.ru

Natal'ya O. Sivolobova — Docent of Industrial Ecology and Life Safety Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; svlbva.n@inbox.ru