

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2024, Том 11, № 1 / 2024, Vol. 11, Iss. 1 <https://resources.today/issue-1-2024.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/16NZOR124.pdf>

DOI: 10.15862/16NZOR124 (<https://doi.org/10.15862/16NZOR124>)

1.6.21. Геоэкология (геолого-минералогические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Григорьева, И. Ю. Грунты в действующей системе обращения с отходами / И. Ю. Григорьева, С. С. Садов, А. В. Морозов // Отходы и ресурсы. — 2024. — Т. 11. — № 1. — URL: <https://resources.today/PDF/16NZOR124.pdf>
DOI: 10.15862/16NZOR124

For citation:

Grigorieva I.Yu., Sadov S.S., Morozov A.V. Soils in the current waste management system. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2024; 11(1): 16NZOR124. Available at: <https://resources.today/PDF/16NZOR124.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/16NZOR124

УДК 504.5; 624.131.46

Григорьева Ия Юрьевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия
Доцент кафедры «Инженерной и экологической геологии»
Кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: ikagrig@inbox.ru
IRID: <https://istina.msu.ru/workers/1153092/>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3144-0079>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=62662
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55959984100>

Садов Сергей Сергеевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия
Аспирант кафедры «Инженерной и экологической геологии»
E-mail: sadovss@my.msu.ru
IRID: <https://istina.msu.ru/profile/Uisuki/>

Морозов Андрей Васильевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия
Аспирант кафедры «Инженерной и экологической геологии»
E-mail: morozovav1@my.msu.ru
IRID: <https://istina.msu.ru/profile/andreimorozov99/>

Грунты в действующей системе обращения с отходами

Аннотация. Данная статья является частью диссертационных исследований.

В современных условиях активного строительства, объемы изымаемых грунтов могут исчисляться сотнями тысяч и миллионов кубометров, составляя, основную массу отходов, образуемых в процессе инженерно-хозяйственной деятельности. Столь значительные объемы отходов (в виде грунтов) ставят задачу принятия целесообразных решений об их последующем размещении, повторном использовании или утилизации. Для решения подобных вопросов необходимо знание системы обращения с отходами, представляющими собой грунты, и существующих на сегодняшний день недостатков в принципах организации и механизмах функционирования данной системы.

Авторами представленной статьи проведен анализ системы обращения с грунтами, попадающими в категорию отходов. В общем случае грунты представляют собой сложные многокомпонентные системы, характеризующиеся динамичностью изменения состава, строения и свойств. С учётом специфики изучаемого объекта в проанализированных нормативных и методических материалах были выявлены наиболее слабые стороны и спорные моменты. Одним из которых является сам факт отнесения грунта к категории отхода с нормативной точки зрения. В статье рассмотрены противоречия используемых в нормативных документах определений, положение грунтов в общей системе обращения с отходами, а также процедура установления класса опасности отходов; сделан особый акцент на необходимость применения методов биотестирования при подтверждении V класса опасности отходов.

В статье представлены обобщенные результаты масштабных экспериментальных исследований авторского коллектива, полученные при оценке класса опасности грунтов-отходов, проведенные для чистоты эксперимента на грунтах в условиях моделирования различного по составу и уровню загрязнения. На основе полученных результатов, сформулированы основные предложения по совершенствованию подходов в действующей системе обращения с грунтами, попадающими в категорию отходов при проведении инженерно-хозяйственной, и, прежде всего, инженерно-строительной деятельности.

Ключевые слова: инженерно-строительная деятельность; грунт; отходы; класс опасности; биотестирование; фитотестирование; отходы

Введение

В условиях интенсивно развивающейся строительной отрасли необходимо решать попутно возникающие задачи, одной из которых является проблема размещения и утилизации образующихся отходов, которые представляют собой грунты, изымаемые при проходке различных выемок, тоннелей, выработок котлованов, планировке строительных площадок и т. д. (рис. 1).



Рисунок 1. Грунт, изымаемый в процессе строительства (фото Садова С.С.).

Ежегодно на решение данной задачи Правительством РФ выделяются огромные средства. Например, только в 2021 году было выделено 126 958 миллионов рублей, составивших 10,2 % от всех средств (рис. 2), выделенных на охрану окружающей среды.¹

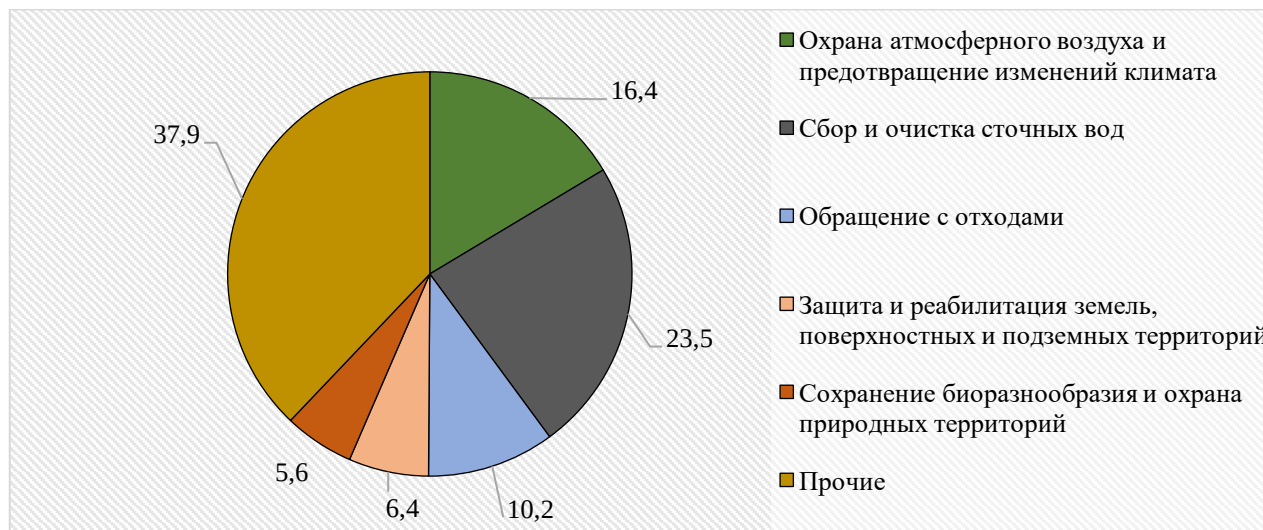


Рисунок 2. Структура расходов (в %) на охрану окружающей среды в России на 2021 г. (URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_ozera_baykal_i_merakh_po_ego_okhrane/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_ozera_baykal_i_merakh_po_ego_okhrane_v_2022_godu/¹)

Но наиболее наглядно демонстрируют значимость данной проблемы не финансовые затраты, а объемы образующихся отходов, и в особенности тенденция к увеличению их общего количества. Анализ данных, представленных в Государственных докладах о состоянии окружающей среды, сделанный за последние 18 лет (за исключением 2023 года), позволяет сделать вывод о том, что объем образованных отходов каждые 5 лет последовательно увеличивался (рис. 3).^{2,3} Не смотря на тот факт, что в последнем отрезке времени в период с 2020 по 2022 год приведены данные всего за 3 года, объём отходов уже превышает данные по интервалам с 2005–2009 и 2010–2014 гг., в то время как утилизируется и обезвреживается примерно половина от общего количества отходов, не зависимо от класса их опасности.

Особое внимание стоит уделить тому, что доля отходов I–IV класса опасности постепенно уменьшалась с 4,7 до 1,3 % в среднем, что означает наличие еще одной проблемы: размещение и техническая обработка малоопасных и неопасных отходов (IV и V класса опасности). Объемы таких отходов в нашей стране колоссальны. Например, в 2020 году отходы V класса опасности составили 98,6 % от общего количества образованных отходов производства и потребления, а в 2021 при том же процентном соотношении их количество увеличилось почти на 1,5 миллиона тысяч тонн.^{4,5}

¹ Охрана окружающей среды в России. 2022: Стат. сб. / Росстат. — 0-92 М., 2022. — 115 с.

² О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023. — 686 с.

³ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. — 684 с.

⁴ Федеральная служба государственной статистики. «Образование, использование, обезвреживание и размещение отходов производства и потребления в Российской Федерации», URL.: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 10.02.2024).

⁵ Федеральная служба государственной статистики. «Образование отходов производства и потребления по видам экономической деятельности (по ОКВЭД2)» URL.: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 11.02.2024).

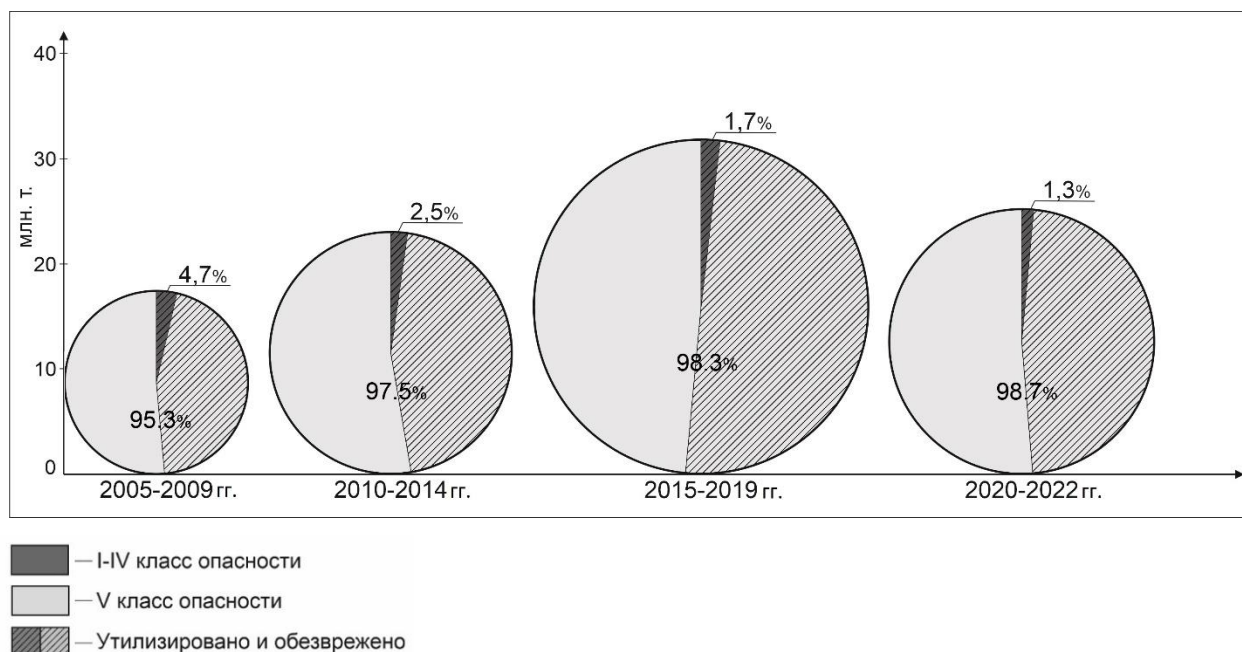


Рисунок 3. Образование, утилизация и обезвреживание отходов производства и потребления (миллионов тонн) (составлено авторами)^{1, 2, 3}

Как результат — тратится большое количество средств и земельных ресурсов. При этом следует подчеркнуть, что более половины всего объема отходов IV и V классов опасности составляют именно грунты.^{1, 4, 5} Под грунтами принято понимать любые горные породы, почвы или антропогенные геологические образования, представляющие собой многокомпонентные, динамичные системы, рассматриваемые в связи с инженерно-хозяйственной и, прежде всего, инженерно-строительной деятельностью человека [1]. Классификация типов грунтов очень многообразна, в ней выделяют три основных класса: скальные, дисперсные и мерзлые. Скальные грунты подразделяются на подтипы и виды, исходя из генезиса и химического состава. Дисперсные грунты, в свою очередь разделяют на связные (глины, суглинки, супеси и т. д.) и несвязные (пески, крупнообломочные грунты и т. д.). Данная группа грунтов наиболее часто встречается в ходе инженерно-хозяйственной деятельности человека. Класс мерзлых грунтов, наиболее распространённый на территории нашей страны (70 % общей площади), представляет собой все те же, ранее выделенные типы и виды грунтов, но с включениями льда в их структуре.

Многокомпонентность состава грунтов заключается в наличии четырех основных составляющих: твердого, жидкого, газообразного и живого компонентов. Твердый компонент является структурной основой грунта, определяющей его основные физические и химические свойства, зависящие от минерального состава. Наличие, объем и химический состав жидкого компонента, в свою очередь будет определять не только физические и физико-химические свойства грунта, но также определяет условия и возможности развития аборигенной микробиоты. Газовый компонент является неотъемлемой частью грунтов, и представляет собой смесь газов, заполняющих свободное поровое пространство. Наименее очевидной, но не менее важной является живой компонент грунта, наличие которого не зависит от приповерхностного расположения грунта, а видовое разнообразие, зачастую определяется химическим и минеральным составом субстрата [1; 2].

Все вышесказанное обуславливает повышенный интерес и особую актуальность решения вопросов размещения, утилизации и переработки грунтов, попадающих в категорию отходов.

Действующая система обращения с отходами

В настоящее время в России по статистическим данным ежегодно город с населением около 1 млн человек выбрасывает на прилегающие территории до 400 тысяч тонн ТКО, что соответствует удельному выходу отходов на одного жителя в нашей стране порядка 350–400 кг в год [3]. При этом система сбора и обработки мусора в России практически не обновлялась в течение последних 40–50 лет, и в большинстве случаев отходы захоранивались на специальных полигонах. Поэтому, как известно, с 2017 года в целях реализации норм и положений закона «Об охране окружающей природной среды» в России разрабатывается Государственная программа «Отходы».⁶

Основная цель этой программы состоит в обеспечении одного из условий экологически безопасного развития страны — стабилизации, а в дальнейшем сокращения загрязнения окружающей среды отходами и экономии природных ресурсов за счет максимально возможного вторичного вовлечения отходов в хозяйственный оборот. Программа предусматривает решение следующих задач:

- снижение объемов образования отходов на основе внедрения малоотходных и безотходных технологий;
- сокращение видов и объемов токсичных и опасных отходов на основе применения новых технологических решений;
- повышение уровня использования отходов;
- эффективное использование сырьевого и энергетического потенциала вторичных материальных ресурсов;
- экологически безопасное размещение отходов;
- целенаправленное распределение финансовых и иных ресурсов на удаление отходов и их вовлечение в хозяйственный оборот.

Одновременно с развитием технологических методов обращения с отходами, информационных систем обеспечения и изменениями в законодательной базе, меняется и сама программа. Последняя актуализация этой программы учитывает Приказ Минприроды России № 1021 от 07.12.2020 «Об утверждении Методических указаний по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение» и соответственно предусматривает определенную систему обращения.⁷

В рамках данной системы, мероприятиям по размещению, утилизации и переработке образованных отходов, предшествуют множество иных этапов (рис. 4). При этом вопросы, особенно актуальные в отношении грунтов, рассматриваемых в категории отходы, возникают уже на самых ранних стадиях обращения с ними.

Например, на этапе классификации, разделение на определенные группы и отнесение к категории «отходы» происходит не только на основании терминологических позиций, но и компонентного состава, агрегатного состояния, типа отходообразующего производства и множества других аспектов.

⁶ Постановление «О федеральной целевой программе "Отходы"», Правительство России. URL: <http://government.ru> (дата обращения 11.03.2024).

⁷ Приказ Минприроды России № 1021 от 07.12.2020 «Об утверждении Методических указаний по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение» URL: <http://government.ru> (дата обращения 12.03.2024).

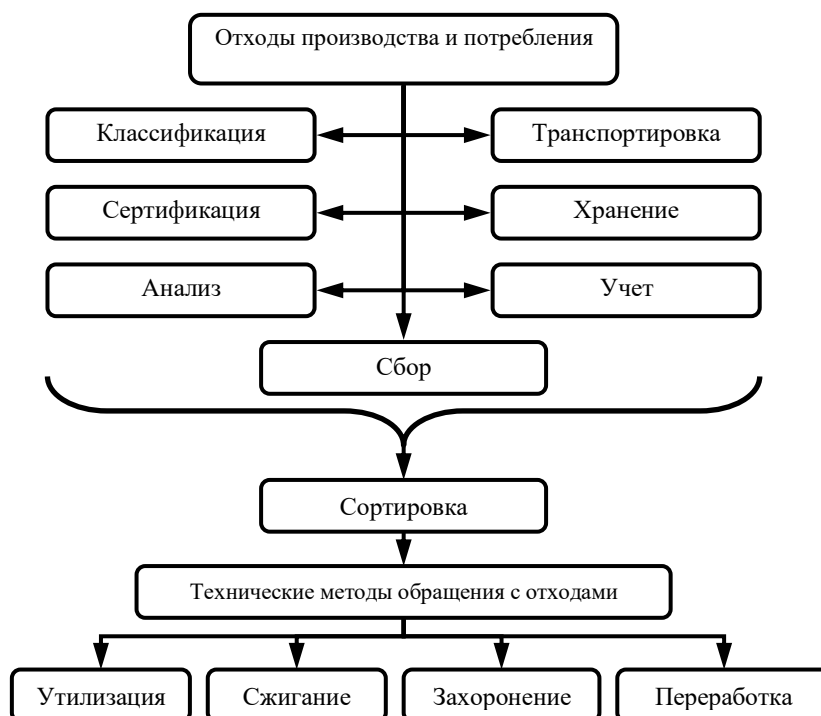


Рисунок 4. Структурная схема обращения с отходами производства и потребления, составлено авторами на основе данных [4] (URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskii-adaptivnoe-prirodopolzovanie/viewer>)

Однако в процессе классификации отходов в отношении грунтов возникают вопросы, требующие немедленного решения. В виду недостаточной проработанности механизма отнесения грунтов к категории отходов, момент их фактического перехода в данную категорию не определён. Так, в изыскательской и строительной практике достаточно часто поднимается вопрос, на каком этапе строительной деятельности грунт можно считать отходом, и относится ли он вообще к данной категории. Соответственно появляется неопределённость в отношении необходимости проведения соответствующих мероприятий по определению класса их опасности [5].

Так же противоречия возникают в формулировке самих определений грунта как отхода, которые содержатся в документах, регулирующих вопросы обращения с отходами. Например, согласно ГОСТ 30772-2001 отходами являются «остатки продуктов или дополнительный продукт, образующиеся в процессе или по завершении определенной деятельности и не используемые в непосредственной связи с этой деятельностью».⁸ То есть, согласно данному определению, любой образующийся объем грунтов или грунтовых смесей, который не планируется использовать конкретно в осуществляемой деятельности, в ходе которой он был образован, подлежит полному циклу мероприятий в соответствии с действующей системой обращения с отходами.

Напротив, согласно Федеральному закону от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» отходами производства и потребления являются «вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат

⁸ ГОСТ 30772-2001. "Межгосударственный стандарт. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения" от 28 декабря 2001 г. N 607-ст. Гарант. URL: <https://base.garant.ru/> (дата обращения 12.03.2024).

удалению в соответствии с настоящим Федеральным законом.⁹ Руководствуясь этим определением, тот же объем грунтов или грунтовых смесей, образованных в ходе какой-либо деятельности, повторно используемый, но в рамках иных мероприятий уже не будет попадать под определение отхода. Следовательно, данный объем грунтов не попадает под категорию отходы, и в отношении него можно не применять комплекс мероприятий в соответствии с общей системой обращения с отходами.

За этапом классификации следуют не менее важные процессы транспортировки, сертификации и хранения. В настоящее время, эти этапы можно рассматривать как наиболее проработанные в общей системе. Основная цель данного комплекса мероприятий — транспортировка от места образования отходов, до пункта их сертификации и временного хранения, обеспечивающего неизменность характеристик в течении необходимого отрезка времени перед следующим этапом.

На следующей стадии проводится анализ степени возможного негативного воздействия субстрата (отхода) на окружающую среду. На этом этапе, в зависимости от ранее установленного типа отхода, проводится комплекс мероприятий, направленный на определение специфических для данного типа характеристик, включающий определение элементного, химического состав и другие. Данный комплекс мероприятий проводится для последующего установления класса их опасности по методикам, учитывающим специфику тех или иных отходов.

Основной метод, детально прописанный в Приказе Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 4 декабря 2014 г. N 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду»¹⁰, предусматривает расчет степени опасности компонентов отхода для окружающей среды, по сумме которых и определяется класс опасности. При этом степень опасности компонента отхода для окружающей среды рассчитывается как отношение его концентрации к коэффициенту степени опасности для окружающей среды. Однако при расчете определяющего показателя (Z_c), учитываются только те элементы, коэффициенты концентрации которых одновременно превышают фоновое содержание для данной территории, и соответствуют условию минимального значения: $K_i > 1$. Соответственно, итоговое количество учитываемых элементов меньше реального. Однако попытка учета коэффициентов всех элементов может привести к ситуации, в которой значение Z_c может достичь отрицательной величины, что противоречит базовым принципам данного расчета [6].

Эта неопределенность в количестве учитываемых показателей является одной из наиболее распространенных причин неверного определения степени загрязнения грунтов.

Наиболее опасными являются ситуации, в которых итоговое значение показателя (Z_c) колеблется около граничного значения двух разных классов опасности, незначительно меняя количество учитываемых элементов, можно подстраивать необходимую степень загрязнения для установления заведомо более низкого класса опасности [6].

Стоит упомянуть, что, из-за наличия неточных формулировок в ряде законодательных актов, существует практика, согласно которой, части отходов, в том числе грунтов,

⁹ Закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления" Гарант. URL: <https://base.garant.ru/> (дата обращения 12.03.2024).

¹⁰ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 4 декабря 2014 г. № 536 "Об утверждении Критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду" Гарант. URL: <https://base.garant.ru/> (дата обращения 12.03.2024).

присваивается V, или иной класс опасности, в случае если попадает под одну из прописанных категорий (по ФККО)¹¹, без проведения дополнительных анализов.

При получении V класса расчетным способом, необходимо подтверждение этого факта экспериментальным методом, в качестве которого чаще всего применяется биотестирование на гидробионтах [7]. Основным критерием является определение коэффициента кратности разведения водной вытяжки, при котором отсутствует вредное воздействие на тест-организмы, в качестве которых выступают гидробионты (водные организмы). При этом необходимо использование не менее двух тест-объектов из разных систематических групп [8–11].

Сам метод биотестирования, согласно РД 64-085-89 «Методические указания. Методические основы биотестирования и определения генетической опасности отходов, поступающих в окружающую среду»¹² выполняется в основном на фитогидробионтах, одноклеточных зеленых водорослях *Scenedesmus quadricauda*, зоогидробионтах, инфузориях *Tetrahymena pyriformis* или низших ракообразных — дафниях *Daphnia magna* [12–14]. Таким образом, метод нацелен на исследование суммарного токсического воздействия химических веществ и соединений, способных переходить в водный раствор из отходов на тест-организмы.

Помимо вышеуказанного метода, основанного на применении водных организмов, в практике так же возможно применение фитотестирования на высших растениях элюатным способом, то есть с использованием водной вытяжки из исследуемого субстрата [15–17]. В основе этой методики лежит оценка степени токсического воздействия водной вытяжки на тест-культуру, рассчитываемую по изменению длины корней растения по отношению к контролю, которым в данном случае является дистиллированная вода [7; 8].

Начиная с 2019 года, был так же официально утвержден метод фитотестирования на высших растениях аппликатным способом, то есть с использованием в качестве исследуемого субстрата — непосредственно грунта¹³ [18; 19]. Отличие данного метода от элюатного заключается в непосредственном контакте тест-растения с грунтом-отходом. Это позволяет избежать погрешностей, связанных с не полным переходом токсичных соединений в раствор и повышает достоверность полученных результатов [20–22].

После определения соответствующего класса опасности отхода, следует этап учета, сбора и сортировки. На данной стадии происходит сбор отходов по установленным классам опасности и занесение в государственные реестры, за которым следуют мероприятия по утилизации, повторному использованию, хранению или захоронению. В настоящее время известно множество способов утилизации отходов, как например механические процессы переработки (измельчение, сортировка, компактирование, смешение), физические, гидро- и аэродинамические процессы видовой сепарации, а также химические, биохимические, термические и массообменные (кристаллизация адсорбция, абсорбция и другие) процессы. Но в отношении грунтов существующих методик не так много, и чаще всего в их отношении применяется захоронение, повторное использование без обработки, либо повторное использование с предварительной очисткой от загрязнения. В качестве мер повторного использования грунта чаще всего применяется: заполнение карьеров на техническом этапе

¹¹ Федеральный классификационный каталог отходов. Росприроднадзор URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (дата обращения 12.03.2024).

¹² РД 64-085-89 Методические указания. Методические основы биотестирования и определения генетической опасности отходов, поступающих в окружающую среду. ГОСТ Ассистент. URL: <https://gostassistant.ru> (дата обращения: 08.02.2024).

¹³ ГОСТ Р ИСО 18763-2019 Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадия развития высших растений // М.: Стандартиформ, 2019, 27 с.

рекультивации; в качестве строительного материала; для обваловки скважин и отсыпки иных объектов [23].

Так же известны случаи продажи грунтовых масс, как способа утилизации [24], хотя это весьма спорный способ, как с точки зрения безопасности дальнейшего их использования покупателем, так и с нормативно-правовой позиции. И хотя данный метод применялся только в отношении малоопасных грунтов V класса опасности, подобные случаи неоднократно разбирались в судебном порядке¹⁴, что в настоящее время практически полностью нивелирует его применение.

Столь малое количество применяемых методов свидетельствует о недостаточной разработке вопроса обращения с грунтом, как отходом.

Идентификация грунта как отхода

Учитывая значительную долю грунтов от общей величины (общего состава) отходов, и имеющуюся тенденцию увеличения образуемых объемов с каждым годом, вопрос проработанности нормативной базы, а также положения грунтовых систем и методов обращения с ними в правовом аспекте становится все более актуальным.

С точки зрения актуального на данный момент законодательства, единственным документом, где грунт прямо обозначают как отход — является Федеральный Классификационный Каталог Отходов¹¹, в котором учтены практически все виды деятельности, кроме исключенных биологических, радиоактивных, и отходов фармацевтического производства из блока № 5, к которым установлены другие правила обращения. На данный момент он включает в себя более 6 300 наименований отходов (рис. 5).

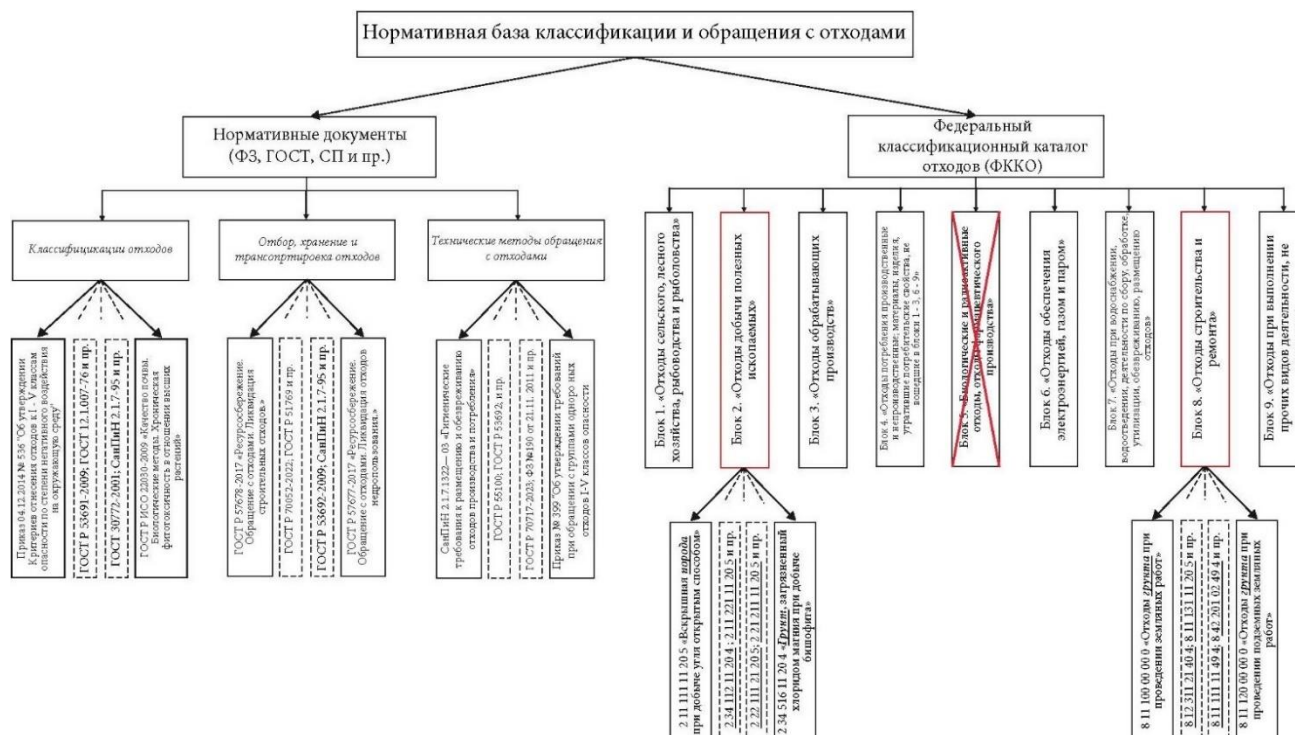


Рисунок 5. Положение грунтов в общей системе обращения с отходами (составлено авторами)

¹⁴ Судебные и нормативные акты РФ «Решение от 18 февраля 2022 г. по делу № А05-8304/2021» URL: <https://sudact.ru/> (дата обращения 11.02.2024).

Несмотря на то, что формулировки с содержанием слова «грунт» встречаются практически во всех блоках, значительная часть нормированных грунтов-отходов перечислена в блоках 2 и 8, отходы горнодобывающей и строительной отраслей соответственно.

Так же, в них предписывается предполагаемый класс опасности, соответствующий определенному типу отхода, однако по-прежнему сохраняется необходимость его подтверждения.

Стоит отметить, что в данном перечне учтены не все возможные ситуации. Для таких случаев в отношении грунтов, предположительно попадающих в категорию отходы применяются различные нормативные документы, отображающие общий подход к обращению с отходами, начиная от их классификации и учета, и заканчивая методами очистки и критериев, регламентирующих возможность повторного использования (рис. 5).

Опыт экспериментальной оценки класса опасности грунтов-отходов методами биотестирования

Учитывая обширный спектр задач, требующих решения, для совершенствования существующей практики обращения с грунтами-отходами, авторами был проведен масштабный эксперимент с целью определения оптимального метода для подтверждения V класса опасности при помощи биотестирования.

В качестве объекта исследований были выбраны кварцевые мелкие пески с использованием наиболее распространенных типов поллютантов (загрязняющих веществ). В качестве загрязнителей выступали дизельное топливо и хлорид натрия, состав и соотношение которых указано на рисунке 6 в процентах по массе от навески воздушно-сухого грунта.

В качестве используемых методик оценки были выбраны три наиболее распространенные: аппликатное фитотестирование, при котором присутствует непосредственный контакт семян высших растений с грунтом; элюатное фитотестирование, при котором проводится тестирование водной вытяжки из пробы с применением семян высших растений; биотестирование на водных вытяжках с применением водорослей и гидробионтов. В качестве тест-организмов использовались высшее растение горчица белая *Sinapis alba*, рачки *Daphnia Magna Straus* и одноклеточные водоросли *Scenedesmus quadricauda*.

Анализируя результаты проведенного эксперимента (рис. 7), можно сделать следующие выводы:

При аппликатном методе фитотестирования на *Sinapis alba* (рис. 7 а), главным критерием, определяющим токсичность пробы, является значение эффекта торможения в отношении длины корня тест-культуры с пороговым значением в 30 %.

Таким образом, токсичными по отношению к тест-культуре оказались 7 из 9 тестируемых проб, за исключением образцов с добавлением дизельного топлива (3 %) и гумата, где соответственно в качестве контроля выступала проба № 1 с дистиллированной водой. Дизельное топливо в обеих концентрациях при индивидуальном внесении не оказывает такого негативного влияния, как в смеси с солью. NaCl обладал высокой токсичностью даже при индивидуальном внесении.

При элюатном методе фитотестирования с использованием *Sinapis alba* (рис. 7 б) главным критерием, определяющим токсичность пробы, является аналогичный аппликатному методу параметр с пороговым значением в 30 %. В данном методе признаки токсичности не были обнаружены ни в одной из проб. При этом дизельное топливо в концентрациях 3 % и 5 % стимулировало рост корней и стеблей.

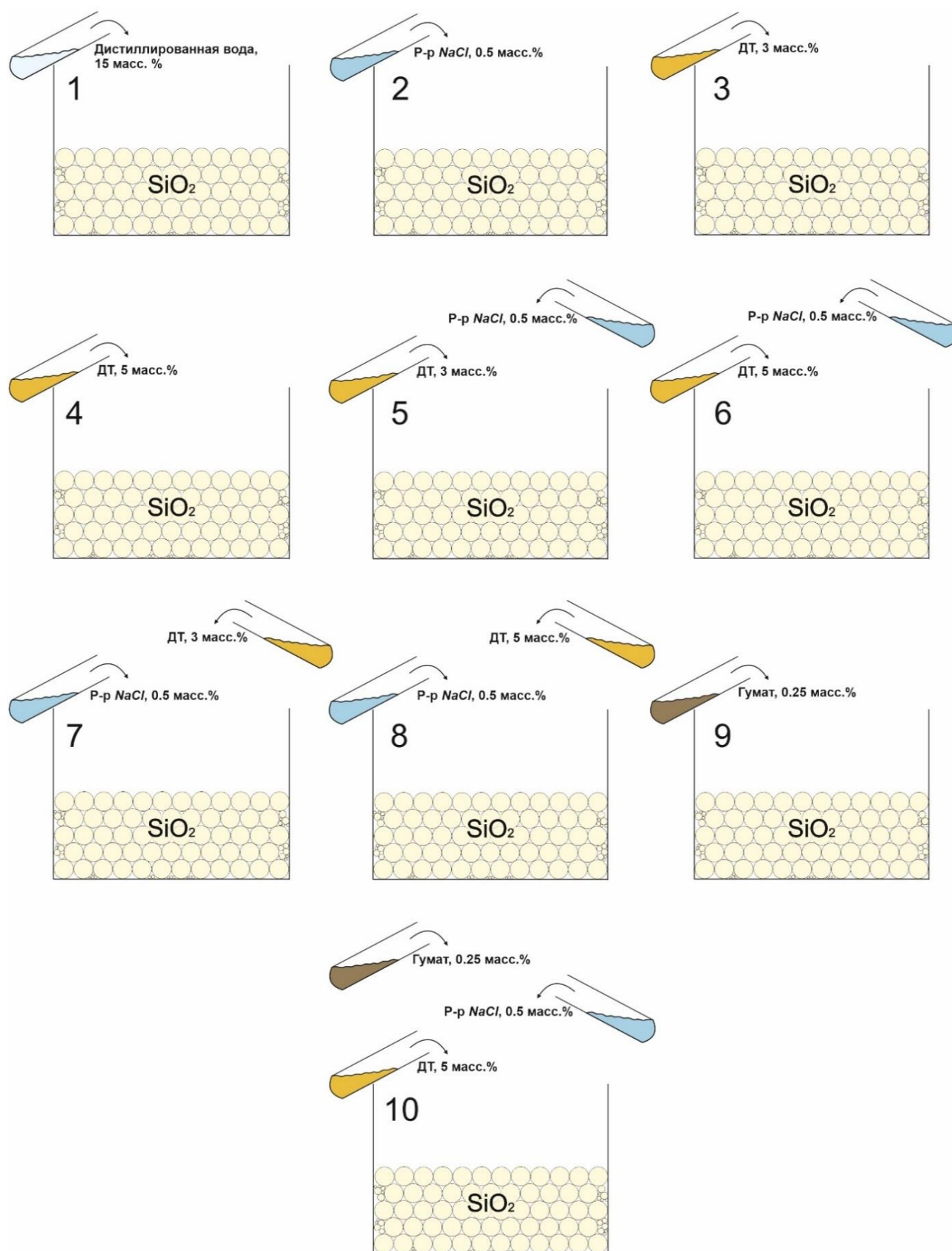
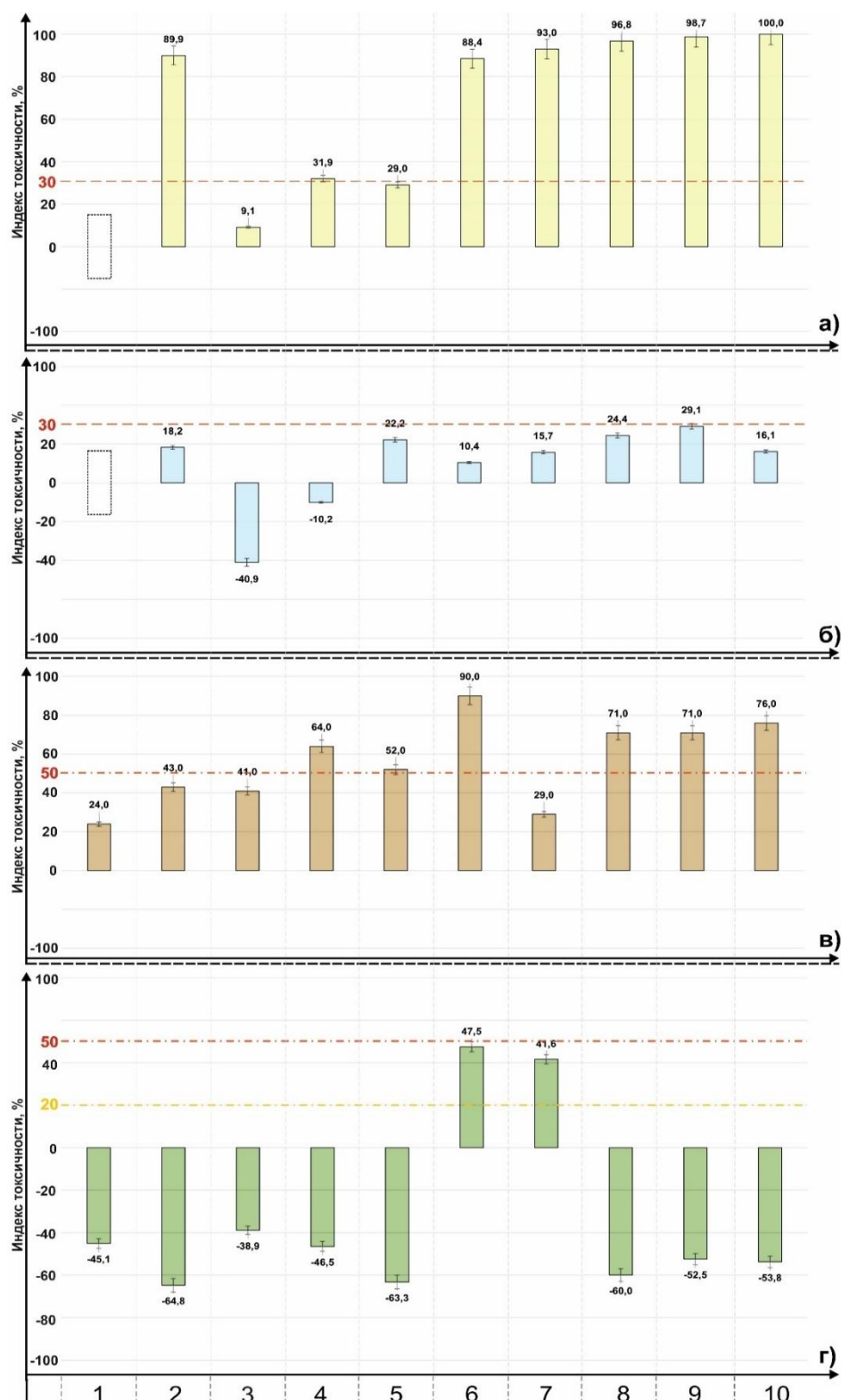


Рисунок 6. Схематическое изображение создания моделей загрязненного песчаного грунта (ДТ — дизельное топливо) (составлено авторами)



Состав загрязнения моделей: 1 — дистиллированная вода; 2 — раствор хлорида натрия (0,5 масс. %); 3 — дизельное топливо (3 масс. %); 4 — дизельное топливо (5 масс. %); 5 — дизельное топливо (3 масс. %) и раствор хлорида натрия (0,5 масс. %); 6 — дизельное топливо (5 масс. %) и раствор хлорида натрия (0,5 масс. %); 7 — раствор хлорида натрия (0,5 масс. %) и дизельное топливо (3 масс. %); 8 — раствор хлорида натрия (0,5 масс. %) и дизельное топливо (5 масс. %); 9 — гумат (0,25 масс. %); 10 — гумат (0,25 масс. %), дизельное топливо (5 масс. %) и раствор хлорида натрия (0,5 масс. %)

Рисунок 7. Объединенная характеристика чувствительности выбранных методик по отношению к модельным загрязненным песчаным грунтам (составлено авторами)

При биотестировании на гидробионтах *Daphnia Magna Straus* (рис. 7 в), критерием токсичности является смертность в 50 % от общего числа тест-организмов в пробе. Данное пороговое значение было превышено в 6 из 10 проб, за исключением грунтов с гуматом, солью, дизельным топливом в концентрации 3 % и с добавлением в пробу дистиллированной воды. Контролем в данном опыте выступает среда для проращивания тест-организмов — специализированный раствор. Никакой зависимости между концентрацией или порядком вносимых веществ обнаружено не было, при этом в отношении грунта с гумусом мутность раствора никак не повлияла на результат. Это позволяет сделать вывод о наличии других, не учитывавшихся в методике эксперимента факторах, что может служить причиной трудной воспроизводимости эксперимента с применением гидробионтов.

При биотестировании на одноклеточных водорослях *Scenedesmus quadricauda* (рис. 7 г), критерием проявления средней степени токсичности является снижение интенсивности флуоресценции хлорофилла в 20 %, а критерием проявления острой степени — порог в 50 %. Контролем в данном опыте выступает среда для проращивания тест-организмов — специализированный раствор. Наличие эффекта токсичности было обнаружено только в пробах № 6 и 7, которые преодолели значение в 20 %. Водные вытяжки из остальных проб грунта стимулировали рост водорослей *S. quadricauda*.

Для оценки влияния каждого вносимого загрязнителя на измеряемые параметры тест-объектов был проведен статистический анализ, результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние состава загрязнения модельной песчаной смеси на результаты фитотестирования с применением культуры горчицы белой (*Sinapis alba*)

Метод тестирования	Апликатный			Элюатный		
	всхожесть	длина корня	длина стебля	всхожесть	длина корня	длина стебля
Тест реакция						
Отличие от контроля	140,446 ($< 0,0001$)	233,875 ($< 0,0001$)	1,525 (0,228)	0,222 (0,643)	0,503 (0,486)	0,624 (0,438)
Внесение ДТ	0,162 (0,851)	2,466 (0,104)	1,095 (0,349)	1,520 (0,242)	1,570 (0,232)	0,132 (0,877)
Внесение NaCl	138,141 ($< 0,0001$)	122,872 ($< 0,0001$)	14,092 (0,001)	2,328 (0,142)	19,958 ($< 0,0001$)	0,120 (0,733)
Способ внесения ДТ и NaCl	0,551 (0,464)	1,407 (0,246)	—	0,143 (0,710)	1,354 (0,258)	2,928 (0,102)

Примечание: в скобках приведены значения Pr , где Pr — p -значение, вероятности получения результатов теста, таких же экстремальных, как результат, фактически наблюдаемый. Составлено авторами

Полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее значимое влияние на отклик тест-объекта, и как следствие определение класса опасности, оказывало внесение соли.

Выводы

Таким образом, в настоящее время существенно недоработан вопрос о методах оценки класса опасности грунтов с нормативно правовой точки зрения. Существует чрезвычайно малое количество методов утилизации грунтов как отходов, несмотря на колоссальные образуемые объемы. В частности, особое внимание стоит уделить методам очистки грунтов для их дальнейшего повторного использования, а также проработке вопроса применения большего

количества экотоксикологических методов исследования для увеличения точности определения класса опасности подобного вида отхода.

На данный момент экотоксикологические исследования лишь подтверждают класс опасности отходов, и обязательны только при установлении химико-аналитическими методами V класса опасности. При этом результаты подтверждения будут значительно зависеть от выбранной методики, тест объекта, конкретной лаборатории и превалирующего токсиканта. Хотя с точки зрения наибольшей достоверности результатов в отношении оценки реакций высших растений на загрязнение, а также приближенности к природным условиям, как было показано авторами по результатам проведенных исследований, наиболее точными являются результаты аппликатного фитотестирования.

Необходимо включить методы фитотестирования на высших растениях в перечень обязательных методов для подтверждения V класса опасности. Причиной этому является более высокая степень воспроизводимости данных при увеличении числа повторностей по сравнению с гидробионтами, а также чувствительность к большему числу загрязнителей у тест-объектов по отношению к применяемым видам гидробионтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимов В.Т. Содержание, структура и задачи инженерной геологии. Статья 2 // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1997. № 2. С. 3–12
2. Соколов В.Н. Формирование микроструктуры глинистых пород // Соросовский образовательный журнал. — 1998. — № 7. — С. 83–83.
3. Косолапов Н.А. Статистика ТБО в России // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2014. — Т. 26. — С. 581–585.
4. Дмитриева Т.И. Экологически адаптивное природопользование. В-ик БГУ. Биология. География. 2004. С. 199–204.
5. Пшенин В.Н. «Особенности обращения с грунтами как с отходами при строительстве автомобильных дорог». Журнал Красная линия. ДОРОГИ № 39/8/2009. 2009 г., стр. 12–15.
6. Кунаков К.О. Противоречия в законодательстве и оценка категорий загрязнения почв тяжелыми металлами на стадии инженерно-экологических изысканий / К.О. Кунаков // Вестник государственной экспертизы. — 2017. — № 3. — с. 96–99.
7. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение- М.: 2011 г. 190–198 с.
8. Терехова В.А. Биоиндикация и биотестирование в экологическом контроле // Использование и охрана природных ресурсов в России. Информационно-аналитический бюллетень, 2007, No 1(91), с. 88–90.
9. Тимофеева С.С. Современные методы экологической диагностики загрязнения почв // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. — 2011. — № 11. — С. 88–93.
10. Alwan S.W. Bioassay of crude oil toxicity in soil and Vecia Faba L. plant // Plant Archives. 2018. V. 18. No. 2. P. 2573–2579.

11. David M., Levente K., Sandor A.P., Zsolt K. Applying Bioassays for Investigation of Soils from Suburban Green Sites // CSEE'20. Virtual Conference. 2020. No. ICEPTP 108. P. 1–6. doi: 10.11159/iceptp20.108.
12. Casseils N.P., Lane C.S., Depala M., Saeed M., Craston D.H. Microtox testing of pentachlorophenol in soil extracts and quantification by capillary electrochromatography (CEC) — A rapid screening approach for contaminated land // Chemosphere. 2000. V. 40. No 6. P. 609–618. doi: 10.1016/S0045-6535(99)00322-7.
13. Lee W.E., Thompson H.G., Hall J.G., Bader D.E. Rapid detection and identification of biological and chemical agents by immunoassay, gene probe assay and enzyme inhibition using a siliconbased biosensor. Biosens. Bioelectron. 2000; 14(10–11). P. 795–804.
14. Marlon E.V., Juan G.F., Francisco P.M. Determination of phytotoxicity of soluble elements in soils, based on a bioassay with lettuce (*Lactuca sativa* L.) // Science of The Total Environment. 2007. V. 378. No. 1-2. P. 63–66. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.01.007.
15. Gorsuch J., Merrilee R., Anderson E. Comparative toxicities of six heavy metals using root elongation and shoot growth in three plant series // Environmental toxicology and risk assessment, 1995, Vol. 3, p. 377–391.
16. Santin-Montanya I., Alonso-Prados J.L., Villarroya M. Bioassay for determining sensitivity to sulfosulfuron on seven plant species // Journal of Environmental science and health. Part B. 2006. V. 41. P. 781–793. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16893769/>.
17. Werlen C., Marco C.M., Jaspers J. Measurement of Biologically Available Naphthalene in Gas and Aqueous Phases by Use of a *Pseudomonas putida* Biosensor // Applies and Environmental Microbiology. — 2004 — Jan. — P. 43–51.
18. Persoone G. Recent new microbiotests for cost-effective toxicity monitoring: the Rapidtoxkit and the Phytotoxkit // 12th International Symposium on Toxicity Assessment — Book of Abstracts, 2005, p. 112.
19. Susanna S., Laura O., Aldo V. Application of Biotests for the Determination of Soil Ecotoxicity after Exposure to Biodegradable Plastics // Frontiers in Environmental Science. 2016. V. 4. Art. 68. P. 1–12. doi: 10.3389/fenvs.2016.00068.
20. Григорьева И.Ю., Садов С.С., Федосеева Е.В. Влияние методики эксперимента на результаты фитотестирования при оценке класса опасности грунтов как отходов // в сборнике Труды XX Международной научно-практич. конференции "Актуальные проблемы экологии и природопользования" / в 2-х томах, Изд-во РУДН том 1, Москва, 2019 г. с. 330–334.
21. Григорьева И.Ю. Биодиагностика экологического состояния дисперсных грунтов // Григорьева И.Ю., Морозов А.В., Садов С.С. / сборник Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения. Сергеевские чтения: Матер. годичной сессии Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии 2022 г., ГеоИнфо Москва, том 23, с. 355–361.
22. Григорьева И.Ю. О необходимости изменения подходов к оценке классов опасности грунтов-отходов // Григорьева И.Ю., Федосеева Е.В., Морозов А.В., Садов С.С. / журнал Геоинфо. Электронный журнал, № 26, 2019 г.

23. Юрк В.М., Зайцев О.Б., Зайцева А.В. / Основные предпосылки утилизации строительных отходов совместно с загрязненными почвами (грунтами) / Вестник пермского национального политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2020 г. 68–84 с.
24. Беляева, Н.С. Продажа отходов в целях утилизации / Н.С. Беляева // Твердые бытовые отходы. — 2022. — № 12(198). — С. 42–45.

Grigorieva Iya Yur'evna

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: ikagrig@inbox.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3144-0079>

IRID: https://istina.msu.ru/profile/Grigorieva_Iya_Yu/

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=62662

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55959984100>

Sadov Sergei Sergeevich

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: sadovss@my.msu.ru

IRID: <https://istina.msu.ru/profile/Uisuki/>

Morozov Andrei Vasilievich

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: morozovav1@my.msu.ru

IRID: <https://istina.msu.ru/profile/andreimorozov99/>

Soils in the current waste management system

Abstract. This article is part of the dissertation research.

In modern conditions of active construction, the volumes of excavated soil can amount to hundreds of thousands and millions of cubic meters, making up the bulk of waste generated in the process of engineering and economic activities. Such significant volumes of waste (in the form of soil) pose the challenge of making appropriate decisions about their subsequent disposal, reuse or disposal. To solve such issues, it is necessary to know the system of waste management, which is soil, and the current shortcomings in the principles of organization and functioning mechanisms of this system.

The authors of the presented article analyzed the system for handling soils falling into the category of waste. In general, soils are complex multicomponent systems characterized by dynamic changes in composition, structure and properties. Taking into account the specifics of the object under study, the weakest aspects and controversial issues were identified in the analyzed regulatory and methodological materials. One of which is the very fact that soil is categorized as waste from a regulatory point of view. The article examines the contradictions in the definitions used in regulatory documents, the position of soils in the overall waste management system, as well as the procedure for establishing the hazard class of waste; Particular emphasis is placed on the need to use biotesting methods to confirm the V hazard class of waste.

The article presents the generalized results of large-scale experimental studies by the team of authors, obtained when assessing the hazard class of waste soils, carried out for the purity of the experiment on soils under the conditions of modeling different in composition and level of pollution. Based on the results obtained, basic proposals have been formulated for improving approaches in the current system for handling soils that fall into the category of waste during engineering and economic, and, above all, engineering and construction activities.

Keywords: engineering and construction activities; soil; waste; hazard class; biotesting; phytotesting; waste