

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

---

DOI: 10.15593/2409-5125/2020.01.06

УДК 502.36, 544.723.212

**В.М. Юрк<sup>1</sup>, О.Б. Зайцев<sup>2</sup>, А.В. Зайцева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет

<sup>2</sup>ООО «ЭкологияРазвитияБизнеса»

## ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ УТИЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ СОВМЕСТНО С ЗАГРЯЗНЕННЫМИ ПОЧВАМИ (ГРУНТАМИ)

Рассмотрена актуальность вопроса утилизации строительных отходов в Российской Федерации. Проанализированы различные данные о морфологии строительных отходов, на основании которых предложено их разделение на три основных направления по способу утилизации: выделение минеральной фракции, вторичных материальных ресурсов и малопригодных в настоящее время фракций (неутильные отходы). Кроме того, сформулирована проблема сопутствующего образования почв (грунтов) категории «чрезвычайно опасные», подлежащих обязательной утилизации на специализированном полигоне. На основании данных инженерно-экологических изысканий установлены загрязнители, по превышению содержания которых почвы и грунты относят к высокой степени загрязнения.

В качестве первоочередных мер, направленных на утилизацию загрязненных грунтов, предложена детоксикация от тяжелых металлов. Этот эффект достигается переводом тяжелых металлов из растворимой формы в нерастворимую посредством смешения грунтов с минеральной фракцией строительных отходов. Результаты проведенных экспериментов показали, что при использовании песчано-щебеночной смеси фракции 0,05–10,0 мм степень извлечения тяжелых металлов достигает 99 %.

Практическая ценность работы состоит в том, что представленные в ней результаты могут служить основой для разработки технологической схемы утилизации строительных отходов, в смеси с почвой (грунтами), загрязненной тяжелыми металлами.

**Ключевые слова:** отходы строительства, морфология строительных отходов, утилизация отходов, санитарные требования к почвам, тяжелые металлы, сорбция тяжелых металлов, песчано-щебеночная смесь, рекультивация.

В последние десятилетия объем строительства в Российской Федерации резко возрос, следствием чего стало увеличение количества отходов строительства и сноса. Согласно данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2018 году» (далее – Доклад) [1] за 2018 г. только в Свердловской области образовалось 154,9 млн т отходов производства и потребления, из которых 0,29 % (449,3 тыс. т) приходится на долю предприятий в строи-

тельном секторе. В соответствии с представленными в табл. 4.3.8 Доклада сведениями количество *отходов строительства и ремонта* IV класса опасности составляет 72,1 тыс. т, из которых было утилизировано всего 6 тыс. т, т.е. 8,3 %. При этом в 2018 г. об объемах образования строительных отходов отчиталась 161 организация (табл. 4.3.2 Доклада). Однако только в Екатеринбурге на запрос «строительные фирмы Екатеринбург» на портале 2gis.ru система выдает 1071 запись [2]. Такое различие в количестве участников строительного рынка и отчитавшихся предприятий говорит о том, что данные Государственного доклада по отходам строительного сектора далеки от соответствия реальному положению дел и действительный объем их образования может значительно превышать указанные цифры.

Если обратиться к статистике на федеральном уровне, то согласно Государственному докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» [3], представленному Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, в 2015 г. образовалось 17,1 млн т строительных отходов, а в 2016 г. – 21,1 млн т. За 2017–2018 гг. данные в докладе не представлены.

Оперируя только официальными материалами докладов, мы видим, что количество строительных отходов значительно, а доля их утилизации ничтожна. Сопоставляя данные о количестве отчитывающихся организаций и участников рынка только по Екатеринбургу, нетрудно сделать вывод, что львиная доля строительных отходов в настоящее время уходит на несанкционированные свалки.

**Специфика строительных отходов.** Под строительными отходами понимаются остатки сырья, материалов, иных изделий и продуктов, образующихся при строительстве, разрушении, сносе, разборке, реконструкции, ремонте зданий, сооружений, инженерных коммуникаций и промышленных объектов. Строительные отходы в Федеральном классификационном каталоге отходов (далее – ФККО) представлены 54 видами, но с течением времени ФККО дополняется и уточняется новыми позициями, таким образом, перечень строительных отходов не перманентен.

В проектной документации на объект капитального строительства расчет образования основного количества отходов выполняется на основании РДС 82-202–96 «Правила разработки и применения нормативов трудноустраняемых потерь и отходов материалов в строительстве», а также дополнений к ним. Эти расчеты, как правило, можно найти в разделе проектной документации «Перечень мероприятий по охране окружающей

среды». Российское законодательство предписывает обязательную утилизацию отдельных групп отходов, и проектные решения в основном учитывают эти требования и предусматривают отдельный сбор, но, несмотря на это, на практике нет экономической необходимости в первичной сортировке отходов на строительном объекте. В результате при накоплении отходов формируются разнородные массы с крупногабаритными элементами и в смеси с сыпучими и легкими фракциями.

Таким образом, для решения вопроса утилизации строительных отходов требуется оценить их морфологический состав, долю полезных фракций, перспективные виды продукции. Однако вопрос морфологии строительных отходов представляет собой отдельную обширную тему. Состав отходов будет значительно меняться от специфики объектов строительства, интенсивности производимых работ, применяемых материалов, условий выполнения, этапа и стадии строительных работ на объекте. Оценка точного состава строительных отходов, поступающих от независимых коммерческих организаций, в настоящее время зачастую является сложной задачей. Можно рассматривать лишь их усредненный морфологический состав.

Согласно данным различных источников, состав строительных отходов в основном представлен грунтами, бетоном, кирпичом, отходами дерева, металла и смесью иных материалов (утеплители, тара из-под лакокрасочных материалов, монтажной пены, полимерная и картонная упаковка, элементы многослойных ограждающих конструкций и т.д.).

В соответствии с классификацией, изложенной в [4], отходы строительства делятся на три основные категории:

- 1-я категория – отходы, которые образованы, как правило, в начале строительства (тяжелый крупногабаритный мусор, возникающий при сносе здания). Сюда же можно отнести отходы от ремонта и обслуживания автодорог.

- 2-я категория – отходы, возникающие во время строительства (упаковки от различных материалов, остатки строительных смесей, бой строительных материалов, забракованные и разобранные элементы конструкций, опалубки, инструменты и материалы, вышедшие из строя и т.д.). В 1-й и 2-й категории преобладает доля минеральной фракции.

- 3-я категория – мусор, который образовался при выполнении отделочных работ (в этой категории будут преобладать упаковка, остатки легких, не несущих конструкций, элементы отделки, облицовки, тара лакокрасочных материалов, остатки трубопроводов, бой и брак элементов конструкций). В этой группе отходов содержатся фракции, которые являются вторичным материальным ресурсом, но меньше минеральной фракции.

При повышении категории отхода согласно указанной классификации наблюдается уменьшение количества объемов образуемых отходов.

В зарубежных источниках приводятся аналогичные данные по морфологическому составу строительного мусора. В качестве примера в табл. 1 перечислены основные компоненты отходов из Руководства по однородному анализу отходов Саксонского государственного управления по окружающей среде, сельскому хозяйству и геологии в Германии, которые были подробно описаны в [4].

Таблица 1

Морфологический состав строительных отходов  
в Германии по данным [4]

№ п/п	Наименование компонента	Описание
1	Грунт и щебень	Незагрязненный природный материал (в некоторых случаях уже использованный), который изымается и переносится на другое место при проведении строительных работ. Содержание минеральных посторонних включений (строительный мусор, шлаки и кирпичный лом) не должно превышать 10 %
2	Бетон, кирпич, кафель и керамика	Образующиеся при проведении строительных работ минеральные материалы с ограниченным содержанием неминеральных примесей, состоящие из фракций бетона, кирпича, кафеля, керамики и т.п.
3	Битумные смеси	Минеральные вещества, используемые при устройстве дорожных покрытий
4	Смешанные строительные отходы	Незагрязненные смеси минеральных и неминеральных материалов, образующиеся при ведении строительных работ

Немаловажным для понимания проблемы утилизации отходов является их количественный состав и объемы образования отдельных компонентов. Соответствующие данные в отечественных источниках по этому вопросу разнятся. В некоторых источниках при определении процентного содержания компонентов отходов строительства опираются на фактические данные по их образованию за какой-либо период [5, 6]. Автор работы [7] предлагает использовать зарубежный опыт переработки строительного мусора. В монографии [8] применяется подход к определению количества отходов на основании расхода материалов на строительство. Сводная информация о морфологии и процентном содержании отдельных фракций в строительных отходах согласно приведенным выше источникам представлена в табл. 2.

Таблица 2

## Состав строительных отходов на основании различных литературных источников

№ п/п	Наименование компонента	Процентное содержание в общем объеме	Ссылка на источник
1	Бетон, железобетон	30–35	[5]
	Асфальтобетон		
	Кирпич		
	Черные металлы	1–2	
	Цветные металлы	0,5–1	
	Щебень, песок, грунт	40–43	
	Дерево, стекло, пластик и пр.	19–28,5	
2	Грунт	88	[6]
	Асфальтобетон	1	
	Бетон, железобетон	4	
	Кирпич	3	
	Древесина	1	
	Иное	3	
3	Асфальтобетон	8,3	[6] исключая грунт
	Бетон, железобетон	33,2	
	Кирпич	24,9	
	Древесина	8,3	
	Иное	25	
4	Дерево	27	[7]
	Кирпич, бетон, асфальт	23	
	Гипсокартон	13	
	Кровельные материалы	12	
	Металл	9	
	Картон и бумага	3	
	Пластик	1	
	Другое	12	
5	Стальной лом несортированный	0,575	[8]
	Чугунный лом несортированный	0,313	
	Бой цементного камня	38,378	
	Древесные материалы	1,115	
	Бой стекла	0,048	
	Куски линолеума	0,073	
	Керамический бой несортированный	0,049	
	Бой асбоцементных материалов	0,0059	
	Остатки битума	0,273	
	Куски рубероида	0,04	
	Отходы сухих ЛКМ	0,018	
	Куски гипсокартонных листов	0,081	
	Шлам минеральной ваты	0,099	
	Бой кирпича	19,385	
	Известковая мелочь	0,065	
	Каменный бой несортированный	1,786	
	Щебеночно-гравийный бой несортированный	19,224	
Песок	18,472		

На основании компонентного состава строительных отходов, принятого по паспортам опасных отходов, также можно предложить их усредненный состав, приведенный в табл. 3.

Таблица 3

Распределение отходов на основании компонентного состава  
(по паспортам опасных отходов)

№ п/п	Наименование компонента	Процентное содержание в общем объеме
1	Дерево	18,8
2	Минеральная составляющая (бетон, кирпич, гипс и т.п.)	74,5
3	Металл	0,2
4	Картон и бумага	0,1
5	Другое	6,4

Как видно из представленных выше таблиц, состав отходов в разных источниках литературы отличается друг от друга. Наиболее предпочтительно принять подход к морфологии отходов исходя из целей дальнейшего использования. С точки зрения возможности утилизации компонентный состав отходов строительства можно сгруппировать в три основных направления:

**Минеральное сырье** – компоненты, пригодные для получения песчано-щебеночной смеси и представленные бетоном, щебнем, керамическими отходами, песком (в том числе сметом), гипсом, цементом, панелями гипсокартона, пазогребневыми плитами и т.д.

**Утильные компоненты** (вторичные материальные ресурсы – ВМР) – компоненты, которые можно передать на утилизацию либо использовать повторно (дерево, металлолом, бумага, картон, полимерные упаковочные материалы и т.п.).

**Неутильные компоненты** – компоненты, которые невозможно или экономически нецелесообразно утилизировать в настоящее время. Эта фракция подлежат захоронению на полигоне (асбоцементные остатки, остатки монтажной пены, тара из-под ЛКМ, остатки бытового мусора, рубероид, отходы с содержанием нефтепродуктов, остатки линолеума и т.п.).

В результате проведенного литературного анализа и с учетом группировки по направлениям использования можно предложить усредненный состав строительных отходов, который представлен на рис. 1.

Таким образом, можно сделать вывод, что основным компонентом строительных отходов независимо от способа расчета, классификации и специфики проводимых работ будет минеральная смесь, состоящая из боя бетона, кирпича, керамики, гипса и прочих строительных материалов.

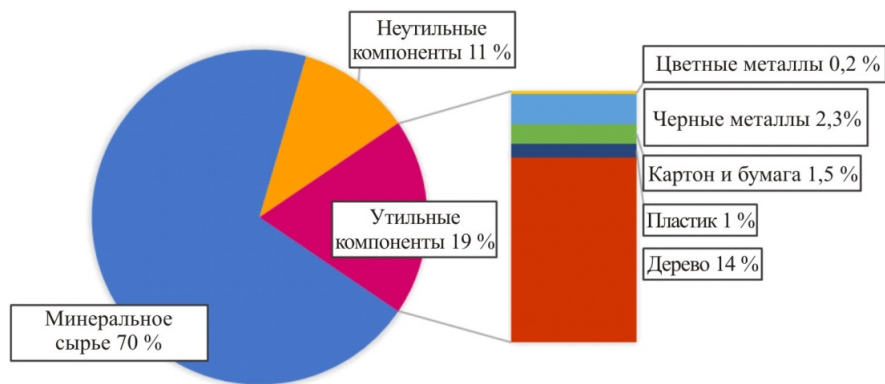


Рис. 1. Усредненный массовый состав строительных отходов, полученный на основании различных источников

Утильные и неутильные компоненты, как правило, практически полностью изымаются из строительного мусора при его первичной сортировке. Эти фракции подлежат либо вторичной переработке на специализированных предприятиях, каких в каждом регионе становится все больше, либо подлежат захоронению на полигонах. Однако, как показано на рис. 1, процент изымаемых компонентов суммарно не превышает 30 %. Соответственно, проблема утилизации отходов строительства напрямую связана с использованием минеральной фракции.

Согласно ГОСТ 32495–2013 «Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия» после дробления и сортировки на специализированных полигонах минеральное сырье может быть использовано как песчано-щебеночная смесь из дробленого бетона и железобетона. Такой материал находит повторное применение в строительстве, однако потребность в подобном вторичном ресурсе, в частности в Уральском регионе, значительно меньше объемов его образования. Таким образом, необходимо искать новые пути его утилизации.

**Грунт и загрязненная почва как отдельная категория отходов.** Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что строительным отходам часто сопутствует образование больших объемов грунта. В процессе земляных работ, прокладки коммуникаций, закладки фундаментов, планировки территории и пр. на строительном объекте образуются значительные объемы грунта. При использовании подземного пространства под парковки, техпомещения количество излишек грунта может составлять десятки тысяч тонн.

Излишки грунта, образуемые в результате человеческой деятельности, переходят в категорию «отход». В Федеральном классификационном каталоге отходов содержится более 10 позиций отходов почв и грунтов, в том числе образованных в результате лабораторных исследований. Наиболее распространенные в строительной практике позиции представлены в табл. 4.

Таблица 4

Наиболее распространенные позиции отходов, образующиеся при проведении строительных работ

Код ФККО	Наименование	Класс опасности
8 11 100 00 00 0	<i>Отходы грунта при проведении земляных работ</i>	
8 11 100 01 49 5	Грунт, образовавшийся при проведении земляных работ, не загрязненный опасными веществами	5
8 11 110 00 00 0	<i>Отходы грунта при проведении открытых земляных работ</i>	
8 11 111 11 49 4	Отходы грунта при проведении открытых земляных работ малоопасные	4
8 11 111 12 49 5	Отходы грунта при проведении открытых земляных работ практически неопасные	5

Сопоставляя объемы образования излишек грунта и строительных отходов (а именно – минеральной фракции) и учитывая их зачастую совместное образование, можно сделать вывод о целесообразности их совместной утилизации либо вторичного использования. Данный вариант будет экономически более выгоден, поскольку не требует привлечения большого числа контрагентов для отдельного сбора, утилизации и обработки каждого типа отходов и не вызывает сложностей, связанных с их транспортировкой.

Однако вторичное использование грунтов строго регулируется Российским законодательством и зависит от степени его загрязненности. Так, СанПиН 2.1.7.1287–03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» предписывает оценить качество почвы и в случае получения показателя «чрезвычайно опасная» направить на утилизацию на специализированный полигон в соответствии с п. 5.2, табл. 3. При этом даже не допускается ее ограниченное использование. Таким образом, для разработки технических решений по совместной утилизации грунта и отходов строительства следует также учитывать факторы негативного воздействия, присущие грунтам с категорией «чрезвычайно опасные».

Анализируя требования пп. 3.2, 3.5 СанПиН 2.1.7.1287–03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы», можно выде-



лить три основные группы показателей загрязнения почв, по которым производится нормирование и определяется категоричность загрязнения:

- тяжелые металлы (ТМ);
- углеводороды (нефтепродукты, бенз(а)пирен);
- санитарно-бактериологическое, паразитологическое, энтомологическое загрязнение.

Превышение содержания хотя бы одного из указанных показателей делает грунт опасным при извлечении на поверхность и требует его утилизации.

**Уровень загрязнения грунтов категории «чрезвычайно опасные».** Для эффективного решения задачи утилизации чрезвычайно опасных грунтов необходимо понимать, с каким реальным уровнем загрязнения предстоит иметь дело. Для этого нами была сформирована выборка из результатов инженерно-экологических изысканий проб грунта с категорией «чрезвычайно опасная» для различных объектов, в которых ООО «ЭРБи» принимало участие как разработчик раздела «Перечень мероприятий по охране окружающей среды». Объем выборки не претендует на то, чтобы быть репрезентативным для всех территорий, это тема отдельного исследования, но дает основные представления об уровне загрязнения и позволяет сделать первые шаги в исследовании вопроса утилизации чрезвычайно опасных грунтов.

Выборка проведена среди объектов проектирования для капитального строительства на территории г. Екатеринбурга и Свердловской области за 2015–2019 гг. Всего проанализировано 136 объектов. Для исследования были выбраны объекты на сложившейся селитебной территории, в том числе точечная застройка, объекты на бывших промышленных территориях и объекты производственно-складского назначения на действующих промышленных территориях. Все территории антропогенно освоенные. Природные аномалии, сопутствующие месторождениям полезных ископаемых, не рассматривались.

В выборку попали объекты, на территории которых встречались пробы, отнесенные к категории грунтов «чрезвычайно опасные». Всего в выборку вошло 18 объектов. На этих объектах по данным инженерно-экологических изысканий было отобрано и изучено 49 проб с разных горизонтов, отнесенных к категории грунтов «чрезвычайно опасные». В инженерно-экологических изысканиях анализировались тяжелые металлы по основному перечню: свинец, цинк, медь, никель, кадмий, мышьяк, ртуть, а также нефтепродукты и бенз(а)пирен.

Систематизация и анализ полученных данных о концентрациях загрязнителей в пробах позволили сделать следующие наблюдения о степени загрязнения чрезвычайно опасных грунтов:

- В 61 и 63 % проб выборки соответственно наблюдалось превышение значений ПДК по бенз(а)пирену и нефтепродуктам. Кратность превышения содержания поллютанта в пробе составляла до 100 д.ПДК для бенз(а)пирена и до 2000 ориентировочно фоновому уровню (100 мг/кг) для нефтепродуктов. При этом лишь в 18 % проб выборки чрезвычайно опасная категория обусловлена только углеводородами (нефтепродуктами и бенз(а)пиреном), т.е. содержание тяжелых металлов в них не превышало ПДК или не обнаружено.

- Загрязнение почв тяжелыми металлами (в том числе при их совместном присутствии с углеводородами) наблюдается в 82 % проб выборки. Превышение предельно допустимых концентраций металлов при фоновом содержании углеводородов в грунте обнаружено лишь в 14 % проб.

Таким образом, можно сделать вывод, что основными загрязнителями грунтов на различных горизонтах, обуславливающими их чрезвычайно опасный уровень загрязнения, являются тяжелые металлы.

В табл. 5 приведены данные о частоте встречаемости превышения гигиенических нормативов в пробах грунтов и почв по металлам, относящимся к основному перечню анализируемых показателей. Чаще всего в пробах обнаруживают никель и свинец, 53 % и 49 % соответственно, реже наблюдают превышение по ртути (6 %). При этом максимальная концентрация, обнаруженная в выборке, соответствует свинцу и составляет 76,58 д.ПДК.

Таблица 5

Частота встречаемости металлов в выборке и их максимальные концентрации в д.ПДК кислых почв, обнаруженных по результатам ИЭИ

№ п/п	Металл	Частота встречаемости в пробах, %	Максимальные концентрации, доли ПДК
1	Ni (ОДК)	53	49,79
2	Pb (ПДК)	49	76,58
3	Cu (ОДК)	45	28,06
4	Zn (ОДК)	41	10,30
5	Cd (ОДК)	12	23,95
6	As (ПДК)	12	2,36
7	Hg (ПДК)	6	1,95

Статистические данные об одновременном присутствии тяжелых металлов в пробе, для которых наблюдается превышение установленных

нормативов, приведены на рис. 2. Наиболее часто обнаруживали превышение ПДК только по одному металлу – до 31 % случаев. Это можно объяснить тем, что новые объекты нередко возводят на бывших землях промышленного назначения, на которые долгое время могли оказывать определенный тип антропогенного воздействия, соответствующий какому-либо одному производственному процессу. Однако в подавляющем количестве проб выборки (около 50 %) наблюдается более сложный характер загрязнения грунтов, которому сопутствует превышение ПДК более чем по одному металлу. Как показывают статистические данные на рис. 2, чаще всего наблюдается превышение одновременно по четырем показателям.

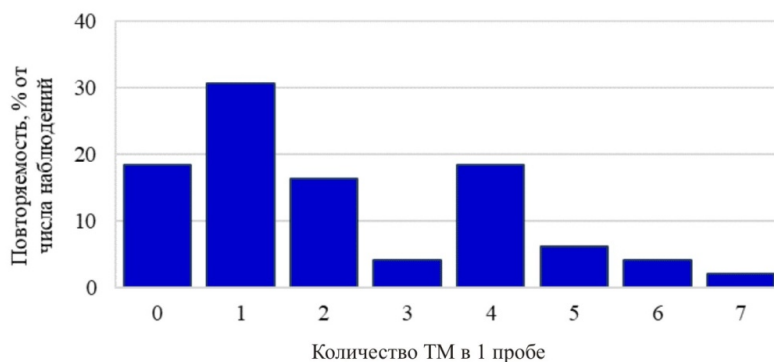


Рис. 2. Гистограмма распределения частоты повторяемости совместного присутствия в 1 пробе тяжелых металлов в концентрациях, превышающих ПДК

Таким образом, проведенный анализ загрязненных проб позволил сделать следующие основные выводы. Во-первых, уровень загрязнения грунтов категории «чрезвычайно опасные» обусловлен совокупностью превышения содержания в них различных по природе загрязнителей. При этом в подавляющем большинстве случаев придется иметь дело с загрязнением тяжелыми металлами. Во-вторых, наиболее часто грунты категории «чрезвычайно опасные» имеют высокие концентрации одновременно по нескольким тяжелым металлам, преимущественно по четырем. В-третьих, проблему утилизации чрезвычайно опасных грунтов необходимо решать в направлении детоксикации не только тяжелых металлов, но и углеводов. Все эти моменты следует учитывать при разработке технологий утилизации загрязненных грунтов.

***Способ утилизации грунта, загрязненного тяжелыми металлами.***

Одним из способов реализации требований СанПиНа 2.1.7.1278–03 явля-

ется вывоз почвы (грунта) категории «чрезвычайно опасная» на специализированный полигон. Еще недавно этот пункт трактовался как «вывезти отходы на полигон для захоронения». Однако в настоящее время такой подход малоприменим по следующим причинам:

Размещение отходов на полигоне не является утилизацией. Полигоны, в основной своей массе, принимают такие грунты как отходы по тарифам за размещение отхода.

На сегодняшний день количество полигонов, способных принять отходы «чрезвычайно опасного» грунта, ограничено.

В территориальных схемах обращения с ТКО, под которые выделяются средства для инвестирования, не рассматривается проблема утилизации «чрезвычайно опасных» грунтов.

Вышеперечисленные аспекты привели к тому, что реальный строительный сектор при обращении со строительными отходами, в том числе с загрязненными грунтами, работает по нелегальным или полунелегальным схемам.

Наиболее очевидное применение грунтам – это заполнение карьеров на техническом этапе рекультивации. Однако из-за требований СанПиНа реализация этого направления недопустима: перед использованием грунты категории «чрезвычайно опасные» необходимо подвергнуть обработке специальными препаратами для извлечения или детоксикации загрязнителей. В результате дополнительных стадий обработки стоимость рекультиванта на основе подобных грунтов повышается, что является дополнительным фактором, сдерживающим легальное и эффективное их использование. Ввиду этого поиск альтернативных малозатратных решений является основным способом решения данной задачи.

Вернемся к результатам анализа данных инженерно-экологических изысканий и повторим, что основными показателями, обуславливающими отнесение загрязненных грунтов к категории «чрезвычайно опасные», являются тяжелые металлы, бенз(а)пирен и нефтепродукты. На сегодняшний день наиболее эффективным способом очистки почв и грунтов от углеводов является биоремедиация, или разложение органических веществ в результате деятельности живых организмов (преимущественно микробиоты) [9–11]. При благоприятных условиях среды биотой перерабатываются практически все загрязняющие углеводороды, а по окончании очистки сами они отмирают ввиду отсутствия основного источника питания и в дальнейшем участвуют в почвообразовании. Однако следует иметь в виду, что деятельность микроорганизмов чувствительна к различ-

ным факторам среды и присутствующим в ней загрязнителям, в особенности к тяжелым металлам.

Согласно данным табл. 5 концентрация металлов в загрязненных грунтах может в десятки раз превышать предельно допустимые значения. В подобной токсичной среде жизнедеятельность микроорганизмов будет подавляться и, соответственно, будет снижаться результат биоремедиации. Учитывая, что в подавляющем большинстве проб грунта (до 80 %) наблюдается превышение концентрации тяжелых металлов, можно сделать вывод о том, что первоначальным этапом утилизации загрязненных грунтов является решение проблемы с повышенным содержанием в них данного типа загрязнителя.

В этой связи вернемся к проблеме утилизации самих строительных отходов, а именно – их минеральной фракции, представляющей собой бой бетона, кирпича, щебня и других строительных материалов. Известно, что минеральная фракция, представляющая собой песчано-щебеночную смесь, также является потенциальным рекультивантом для восстановления промышленных земель [12]. К тому же, за счет содержащихся в ней кальций- и кремнийсодержащих компонентов, данный материал обладает высокой поглотительной способностью по отношению к ионам тяжелых металлов. Как показали результаты проведенных в работах [13, 14] исследований, динамическая емкость строительных отходов к ионам тяжелых металлов сопоставима с динамической емкостью большинства синтетических сорбентов, что делает их более привлекательными для очистки стоков или утилизации загрязненных грунтов. Таким образом, можно сделать вывод о перспективности использования минеральной фракции строительных отходов в качестве геохимического барьера для ионов тяжелых металлов и о прогнозируемом положительном эффекте при совместном использовании минеральной части строительных отходов и почв (грунтов) чрезвычайно опасных.

Однако имеющиеся в литературе сведения о сорбции ионов тяжелых металлов на поверхности частиц строительных отходов относятся только к извлечению одного металла. А как показали приведенные выше исследования, в составе загрязненного грунта наблюдается присутствие смеси четырех и более металлов в концентрациях, превышающих ПДК.

В связи с этим нами были проведены модельные эксперименты по возможности одновременной сорбции различных по природе металлов минеральной частью песчано-щебеночной смеси из водных сред. Как показали результаты проведенных нами экспериментов, песчано-щебеночная смесь на основе отходов строительства обладает высокой сорбцион-

ной активностью ко всем присутствующим в растворе ионам тяжелых металлов (в работе исследовалась сорбция ионов Pb, Zn, Cd, Ni, Cu, Hg из смеси их нитратов). Эффективность сорбции по всем элементам и во всех экспериментах превышала 99 % в статических условиях. При промывании загрязненного материала дистиллированной водой содержание металлов в фильтрате не превышало 0,01 д.ПДК для кислых почв.

Смешение песчано-щебеночной смеси из строительных отходов и загрязненного грунта обеспечит формирование рекультивационного материала, в котором минеральная часть будет выступать в качестве геохимического барьера и поглотителя ионов тяжелых металлов, что будет препятствовать их попаданию в подземные воды и другие объекты окружающей среды. Использование данной смеси для рекультивации промышленных земель будет показывать высокий экологический эффект, поскольку позволит одновременно утилизировать и безопасно использовать два вида отходов, образующихся в больших объемах, и восстанавливать нарушенные земли. В то же время технология изготовления подобного материала не требует привлечения больших инвестиций и реализуема посредством использования серийных строительных механизмов и горного оборудования.

**Выводы о практическом применении.** Обобщение данных инженерно-экологических изысканий, литературного обзора специализированных изданий и статей, нормативно-правовых положений и результатов собственных лабораторных исследований позволяет с уверенностью рекомендовать утилизацию почв (грунтов) обработкой песчано-щебеночной смесью из минеральной части строительных отходов. Результаты проведенных нами лабораторных исследований показали высокую степень сорбции тяжелых металлов и, соответственно, низкие (ниже ПДК для почв) остаточные концентрации в фильтрате как при статических, так и при динамических условиях. Однако следует отметить, что для достижения на практике аналогичных результатов необходимо соблюдать следующие базовые условия:

1. Фракционный состав песчано-гравийной смеси должен соответствовать экспериментальному – 0,05–10 мм, с преобладанием песчаной фракции.

2. Должна быть обеспечена высокая площадь контакта катионов ТМ с минеральными частицами, что достигается равномерным смешением почвогрунта и минерального материала.

3. Для достижения аналогичной эксперименту эффективности в динамических условиях растворов с катионами тяжелых металлов должен

«встретиться» со сплошным барьером, т.е. из песчано-гравийной смеси должен быть сформирован геохимический барьер.

Смесь загрязненного почвогрунта и минеральной фракции, подготовленная с учетом вышеприведенных рекомендаций, может служить рекультивационным материалом для технического этапа рекультивации или инженерной подготовки территории.

Таким образом, результаты исследования показывают перспективность совместной переработки отходов двух типов: строительных отходов, а именно – их минеральной фракции, и загрязненных грунтов категории «чрезвычайно опасные». Предложенный способ составления рекультивационных смесей позволит решить проблемы восстановления нарушенных земель, а также использовать большие объемы отходов, устранив необходимость в их хранении и дополнительной переработке. К тому же создание такого материала является экономически более выгодным, поскольку источник образования отдельных типов отходов, его составляющих, один и их последующая транспортировка и использование будут происходить совместно.

Также необходимо помнить о загрязнении грунтов нефтепродуктами и бенз(а)пиреном, содержание которых в чрезвычайно опасных грунтах может в сотни и даже тысячи раз превышать установленные значения. Поэтому следующим этапом в разработке безопасного рекультивационного материала должно являться изучение биоремедиации от углеводородов в присутствии минеральной фракции с концентрированными на ее поверхности ионами тяжелых металлов. Можно предположить, что в таком случае тяжелые металлы не будут подавлять жизнедеятельность микроорганизмов, однако данная гипотеза требует экспериментального подтверждения.

#### Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2018 году» [Электронный ресурс]. – URL: <https://mprso.midural.ru/article/show/id/1126> (дата обращения: 08.10.2019).
2. «Дубль-Гис» [Электронный ресурс]. – URL: <https://2gis.ru/ekaterinburg> (дата обращения: 08.10.2019).
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.mnr.gov.ru/docs/o\\_sostoyanii\\_i\\_ob\\_okhrane\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_rossiyskoy\\_federatsii/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostoyanii\\_i\\_ob\\_okhrane\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_rossiyskoy\\_federatsii\\_v\\_2017/](http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2017/) (дата обращения: 08.10.2019).
4. Комплексное устойчивое управление отходами. Жилищно-коммунальное хозяйство: учебное пособие / О.В. Уланова и др.; под общ. ред. О.В. Улановой. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 520 с.

5. Постановление Правительства Московской области от 09.07.2019 № 411/22 «О внесении изменений в приложение к постановлению Правительства Московской области от 22.12.2016 № 984/47 «Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, Московской области» [Электронный ресурс]. – URL: [https://mgkh.mosreg.ru/dokumenty/normotvorchestvo/postanovleniya/08-08-2019-16-26-58-postanovlenie-pravitelstva-moskovskoy-oblasti-ot?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fmosreg.ru%2Fdokumenty%2Fnormotvorchestvo%2Fprinято-pravitelstvom%2Fpostanovleniya-pmo%2F08-08-2019-16-50-14-postanovlenie-pravitelstva-moskovskoy-oblasti-ot](https://mgkh.mosreg.ru/dokumenty/normotvorchestvo/postanovleniya/08-08-2019-16-26-58-postanovlenie-pravitelstva-moskovskoy-oblasti-ot?utm_referrer=https%3A%2F%2Fmosreg.ru%2Fdokumenty%2Fnormotvorchestvo%2Fprinято-pravitelstvom%2Fpostanovleniya-pmo%2F08-08-2019-16-50-14-postanovlenie-pravitelstva-moskovskoy-oblasti-ot) (дата обращения: 08.10.2019).

6. Скочихина Т.В. Динамика переработки строительных отходов, образующихся на территории Санкт-Петербурга // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2015. – № 1. – С. 228–238.

7. Смикалин Н.С. Утилизация и переработка строительного мусора // Наука и образование сегодня. – 2019. – № 3 (38). – С. 15–16.

8. Кузьмин Р.С. Компонентный состав отходов: монография. Ч. 2. – Казань: Дом печати, 2009. – 156 с.

9. Тимофеева С.С., Рябчикова И.А., Иванова. С.В. Исследование возможностей биоремедиации загрязненных почв с использованием эм-препаратов // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19 (21). – С. 188–192.

10. Морозова Т.Н., Белик Е.С., Рудакова Л.В. Использование бактериального препарата для ремедиации техногенно загрязненных почв // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2015. – № 3 (19). – С. 69–81.

11. Федотова А.С., Мелкозеров В.М. Технологические аспекты очистки и рекультивации почв агробиоценозов при нефтерозливах // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 1 (124). – С. 85–91.

12. Азматова Е.С., Мьякишева А.В., Ташкинова И.Н. Теоретическое и экспериментальное обоснование применения отходов строительства и сноса для восстановления нарушенных территорий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 31. – С. 110–125.

13. Шершнева М.В., Пузанова Ю.Е., Соловьева В.Я. Геоэкологический аспект использования кальцийсодержащих строительных отходов // Известия ПГУПС. – 2010. – № 2. – С. 286–292.

14. Шершнева М.В. Использование геозащитных свойств твердых отходов на транспорте // Известия ПГУПС. – 2007. – № 3. – С. 89–95.

Получено 22.01.2020

**V. Yurk, O. Zaytcev, A. Zaytceva**

## **BASIC PREREQUISITES FOR RECYCLING BUILDING REFUSE TOGETHER WITH POLLUTED SOILS**

The problem of building refuse utilization in Russia was considered. Various data on the morphology of building refuse were analyzed, on the basis of which it was proposed to divide them into three main areas according to the method of utilization: mineral fractions, secondary material resources and fractions currently unsuitable (non- utilizable waste). Moreover, the problem of the formation of soils with the category of "extremely dangerous", which must be disposed of at a specialized landfill, was formulated. Based on the data of engineering and environmental surveys, pollutants have been identified, in excess of which the soils are classified as a high degree of pollution.

As a priority measure aimed at the utilization of contaminated soils, detoxification from heavy metals is proposed. This effect was achieved by transferring heavy metals from a soluble form to an insoluble form by mixing soils with the mineral fraction of building refuse. The results of the experiments showed that



using a sand-gravel mixture of a fraction of 0.05-10 mm the degree of extraction of heavy metals from their mixture reaches 99.9%.

The practical value of the materials of the work is in the fact that the presented results can serve as the basis for the development of a technological scheme for the disposal of building refuse mixed with soil contaminated with heavy metals.

**Keywords:** building refuse, building refuse morphology, recycling, sanitary requirements for soil, heavy metals, sorption, sand-gravel mixture, recultivation.

**Юрк Виктория Михайловна** (Екатеринбург, Россия) – ассистент кафедры химической технологии топлива и промышленной экологии химико-технологического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, e-mail: v.yurk@yandex.ru).

**Зайцев Олег Борисович** (Екатеринбург, Россия) – директор ООО «ЭкологияРазвитияБизнеса» (620144 г. Екатеринбург, ул. Московская, 195, оф. 715, e-mail: info@eco-bis.ru).

**Зайцева Анна Витальевна** (Екатеринбург, Россия) – Руководитель проектов ООО «ЭкологияРазвитияБизнеса» (620144 г. Екатеринбург, ул. Московская, 195, оф. 715, e-mail: info@eco-bis.ru).

**Yurk Victoria** (Ekaterinburg, Russian Federation) – Assistant of the department of Chemical Technology of Fuel and Industrial Ecology, Institute of Chemical Technology, Ural Federal University (620002, Ekaterinburg, Mira st., 19, e-mail: v.yurk@yandex.ru).

**Zaytcev Oleg** (Ekaterinburg, Russian Federation) – Chief, “Ecology and development of business” (620144, Ekaterinburg, Moskovskaya st., 195, e-mail: info@eco-bis.ru).

**Zaytceva Anna** (Ekaterinburg, Russian Federation) – Project Manager, “Ecology and development of business”, (620144, Ekaterinburg, Moskovskaya st., 195, e-mail: info@eco-bis.ru).