

УДК 504.4.054:628.472.3

*О.А. Притужалова, И.А. Жованик***АНАЛИЗ ИЗУЧЕННОСТИ СВАЛОЧНОГО ФИЛЬТРАТА
НА РОССИЙСКИХ ПОЛИГОНАХ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

Одна из острейших экологических проблем современности – проблема обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Полигоны ТКО являются значительными источниками воздействия на окружающую среду, основными факторами которого являются выделение свалочных газов и свалочного фильтрата. Цель статьи – выявление «белых пятен» в вопросах изученности свалочного фильтрата на российских полигонах ТКО и постановка актуальных исследовательских вопросов. Выполнен обзор исследований по вопросам объема и состава свалочного фильтрата, методов изучения его воздействия на компоненты природной среды. Для оценки влияния на состав отходов и образующегося при их размещении на полигонах ТКО фильтрата рассмотрены современные тенденции в обращении с отходами: увеличение доли электронного мусора и пластика в их составе. Дана оценка объема образования свалочного фильтрата на полигонах ТКО на примере Тюменской области. Установлено, что свалочный фильтрат имеет разный состав в зависимости от стадии жизненного цикла полигонов и представляет реальную экологическую опасность. Данные различных исследователей по концентрациям загрязняющих веществ в свалочном фильтрате плохо сопоставимы, поскольку фильтрат на каждом полигоне имеет свои отличительные особенности, обусловленные спецификой обустройства и эксплуатации полигона, а также спецификой его местоположения. В этих условиях перспективы исследований воздействия свалочного фильтрата полигонов ТКО на природную среду связаны, прежде всего, с изучением воздействия каждого конкретного полигона, а также с разработкой моделей, адекватно отображающих основные закономерности образования свалочного фильтрата в разных условиях.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, полигоны ТКО, свалочный фильтрат, состав свалочного фильтрата, загрязнение грунтовых вод.

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-4-413-426

Высокие риски возникновения угроз экологической безопасности в районах с большой плотностью населения связаны в основном со сложившимся уровнем антропогенного воздействия на природные объекты, наиболее распространенным проявлением которого является образование и накопление твердых коммунальных отходов (ТКО).

На территории нашей страны накоплено более 30 млрд. тонн отходов производства и потребления. Только в 2019 году на территории Российской Федерации было собрано более 60 млн. тонн ТКО, а в 2020 году к ним было добавлено еще более 48 млн. тонн, при этом 95 % от этого количества было направлено на захоронение на полигонах отходов [1].

Наиболее опасным фактором воздействия полигонов отходов на окружающую среду является формирование и распространение так называемого свалочного фильтрата, то есть сточных вод, образующихся в основном за счет прохождения атмосферных осадков через толщу свалочной массы при участии микроорганизмов. Источником образования фильтрата также могут служить избыточная влага самих отходов или хозяйственно-бытовые сточные воды полигона, которые содержат огромное количество загрязняющих веществ [2].

Свалочный фильтрат высокотоксичен, его необходимо собирать и очищать. При этом технологии очистки необходимо подбирать с учетом его состава. На химический состав фильтрата оказывает влияние как исходный состав отходов, так и целый комплекс сложных физических, химических и биологических процессов их трансформации в теле полигона во всевозможных комбинациях и соотношениях, например, гумификация органического вещества, деполимеризация, сбраживание, окисление, гидролиз. Протяженность природно-климатических зон Российской Федерации обуславливает широкое разнообразие условий размещения полигонов отходов. Исследование проблем свалочного фильтрата, его химического состава и степени его влияния на окружающую среду должно учитывать специфику местонахождения каждого конкретного полигона.

Изучением экологических проблем, связанных с твердыми коммунальными отходами, занимается большое количество научных учреждений и исследователей. Опубликованы работы ученых из таких отечественных научно-образовательных учреждений, как Российский государственный аграр-

ный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва), Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова (Москва), Уфимский государственный авиационный технический университет, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Санкт-Петербургский государственный университет, Оренбургский государственный университет и других.

Вместе с тем, актуальность этих исследований не снижается, ведь состав ТКО в Российской Федерации меняется, как и инженерное оснащение полигонов ТКО. Цель настоящего исследования – выявление «белых пятен» в вопросах изученности свалочного фильтрата на российских полигонах твердых коммунальных отходов и постановка актуальных исследовательских вопросов, касающихся свалочного фильтрата полигонов ТКО.

Материалы и методы исследований

Основной метод исследования – анализ литературных данных. Также при выполнении исследования применялись методы обобщения и сравнения. Исследование базировалось на изучении научных публикаций по теме свалочного фильтрата полигонов ТКО. Были изучены статьи, найденные в научных электронных библиотеках «КиберЛенинка» и «eLibrary.Ru». Для поиска публикаций использовался запрос «Свалочный фильтрат».

Выполнено обобщение научных данных по вопросам объема и качественного состава свалочного фильтрата, методов оценки его воздействия на окружающую среду. Результаты оценки воздействия свалочного фильтрата на окружающую среду, технологии очистки свалочного фильтрата, а также способы снижения негативного воздействия фильтрата на окружающую среду вынесены за рамки настоящего исследования.

Результаты и их обсуждение

Объем свалочного фильтрата полигонов ТКО. Первая проблема изучения свалочного фильтрата на объектах размещения ТКО связана с оценкой его объема. Большинство ученых применяют расчетный метод определения объема свалочного фильтрата посредством составления так называемого «водного баланса» полигона. Ключевыми составляющими водного баланса являются следующие входные потоки: атмосферные осадки, собственная влага отходов, увлажнение ТКО в жаркое время года, поверхностный сток; а также следующие выходные потоки: испарение с поверхности полигона, отжимная влага отходов, образование фильтрата [2]. Я.И. Вайсман с соавторами добавляет к выходным потокам потери влаги с биогазом и при транспирации растениями, также поглощение влаги при биодеструкции отходов [3]. И.И. Подлипский называет еще один фактор выделения влаги – биогеохимические процессы разложения органической фракции отходов – и оценивает их вклад в общее количество свалочного фильтрата на уровне 10 % [4].

На объем образующегося фильтрата также будут влиять характеристики самого полигона: площадь полигона (площадь сбора атмосферных осадков), высота полигона и уклон откоса, водопроницаемость и растворимость отходов и основания полигона, специфика его эксплуатации и рекультивации (например, типы грунта, используемого при устройстве промежуточных и окончательных покрытий, наличие и тип растительного покрова), а также количество и плотность размещенных отходов, возраст полигона, температура в массиве отходов [3; 5].

Согласно Е.В. Левину с соавторами, расчетный объем загрязненных сточных вод с рабочих карт захоронения отходов определяется как сумма объемов инфильтрации атмосферных осадков с поверхности рабочих карт и объема влаги складированных отходов при их исходной влажности 30–38 % и составляет 2,41 м³/сут за 20-летний период эксплуатации полигона (для условий Оренбургской области) [6]. Конкретные формулы для расчета объема свалочного фильтрата приводятся в работах [2; 3; 7–9]. Причем, многие авторы ссылаются на методику расчета количества фильтрата 1982 г. [10].

Также следует учитывать неравномерность накопления свалочного фильтрата по сезонам года из-за сезонной динамики осадков и тот факт, что осадки в твердом виде, выпавшие зимой, накапливаются на поверхности полигона и в весенний период суммируются с жидкими осадками.

Наряду с расчётным методом для определения объема свалочного фильтрата применяются также экспериментальные исследования. В частности, для определения водного баланса в теле полигона отходов можно использовать лизиметры, заполняемые отходами с последующим отбором и химическим анализом формирующегося фильтрата через дренажные отверстия. Параллельно определяются ключевые метеорологические параметры. Лизиметрические исследования позволяют определить роль атмосферных осадков в формировании фильтрата, а также закономерности передвижения влаги и растворенных в ней веществ через слой отходов [8; 9].

Состав свалочного фильтрата полигонов ТКО. Во многих источниках указано, что химический состав свалочного фильтрата не стабилен и значительно изменяется в зависимости, прежде всего, от возраста полигона [2; 11]. Выделяют 5 основных стадий в жизненном цикле полигона ТКО: 1) Аэробная (до 1 года); 2) Анаэробная (1–3 года); 3) Ацетогенез (3–10 лет); 4) Метаногенез (10–30 лет); 5) Ассимиляция (30–100 лет) [12]. Характерные изменения в химическом составе свалочного фильтрата приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели химического состава свалочного фильтрата в зависимости от возраста полигона ТКО [12]

№	Наименование показателя	Единицы измерения	Состав фильтрата 1–3 стадий	Состав фильтрата 4–5 стадий	ПДК / ПДУ ¹
1	pH	ед.	6,1	8,0	6,5–8,5
2	БПК5	мг O ₂ /дм ³	13000	180	4
3	ХПК	мг O ₂ /дм ³	22000	2000	30
4	БПК5/ХПК	-	0,58	0,07	-
5	SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	510	82	500
6	Cl ⁻	мг/дм ³	53	2500	350
7	NH ₄ ⁺	мг/дм ³	750	260	2
8	Mg ²⁺	мг/дм ³	470	180	50
9	Fe (об.)	мг/дм ³	120	15	0,3
10	Mn ²⁺	мг/дм ³	27	0,8	0,1
11	Zn ²⁺	мг/дм ³	55	0,7	5

На начальных этапах, как видно по данным табл. 1, свалочный фильтрат имеет слабокислую реакцию среды и высокую температуру (до +80 °С), преобладают процессы растворения, окисления и гидролиза, с накоплением больших количеств токсичных соединений и образованием небольшого количества самого фильтрата. По мере изменения физико-химических условий, значительно повышается кислотность (до 4,5), значения ХПК и БПК, концентрация тяжелых металлов многократно превышает допустимые значения.

Стабилизация условий внутри свалочной массы приводит к преобладанию различных газов (метана, углекислого газа, аммиака и других), повышению pH до 8,0, а иногда и более, возрастанию концентрации трудноокисляемых веществ (ПАВ, гуматов металлов и гуминовых соединений). На завершающей стадии существования полигона отходов происходит окончательная стабилизация биохимических процессов, снижается интенсивность образования газов, в фильтрате содержится огромное количество опасных веществ, и уровень минерализации достигает уровня до 7000 мг/дм³ (при ПДК не более 1500), все это делает свалочный фильтрат источником загрязнения с высоким потенциалом воздействия [12].

¹ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

Таблица 2

Состав свалочного фильтрата по данным разных исследований [2; 7; 13]

Авторы и года выхода публикаций	Е.Е. Степаненко и др., 2009	Г.А. Джамалова, 2014		Г.Ш. Шамсиева и др., 2015
Полигон, стадия его жизненного цикла, особенности (при наличии)	Полигон с. Надежда (Ставропольский край, Россия), стадия не названа, отсутствие противофльтрационных экранов	Карасайский полигон (г. Алматы, Казахстан), метаногенез, совместное захоронение ТКО и промышленных отходов	Полигон ТКО г. Астаны (Казахстан), метаногенез	Самосыровская свалка (г. Казань, Россия), метаногенез, отсутствие противофльтрационных экранов
Объект анализа	Фильтрат из надземных скоплений	Воды фльтрационного накопителя	Воды отстойника жидких отходов	Сточные воды свалки
Цветность	–	–	>100	–
pH	7,3-8,25 ед.	8,1 ед.	5,4 ед.	8,2 ед.
Сухой остаток	–	–	4042 мг/дм ³	12170 мг/дм ³
Взвешенные вещества	45,0-324,0 мг/дм ³	–	–	839*
Общая жесткость	–	–	16,5 мг-экв/дм ³	–
Общая щелочность	–	–	10,4 мг/дм ³	–
Электропроводность	–	42,5 мS/sm	–	–
Хлориды	620,0- 306,0 мг/дм ³	–	283,6 мг/дм ³	2250 мг/дм ³
Сульфаты	0,26-22,6 мг/дм ³	–	43,2 мг/дм ³	6,4 мг/дм ³
Сульфиды	18,1-22,0 мг/дм ³	–	–	–
Фосфаты	26,2- 33,35 мг/дм ³	–	–	–
ОВП	–	-383 mV	–	–
ХПК	410-1110 мгО ₂ /дм ³	4210 мг/л	800 мгО ₂ /дм ³	6100 мгО ₂ /дм ³
БПК ₅	270-380 мгО ₂ /дм ³	4921 мг/л	420 мгО ₂ /дм ³	2340 мгО ₂ /дм ³
БПК ₂₀	512-520 мгО ₂ /дм ³	–	–	–
АОХ	–	4522 мг/л	–	–
NH ₄ ⁺ (Аммоний, азот аммонийный)	20,0-65,0 мг/дм ³	970 мг/л	10 мг/дм ³	–
Нитриты	0,08-2,15 мг/дм ³	–	1,76 мг/дм ³	0,73 мг/дм ³
Нитраты	9,6-19,0 мг/дм ³	–	10 мг/дм ³	–
NO ₂ ⁻	–	0 мг/л	–	–
NO ₃ ⁻	–	0 мг/л	–	–
SO ₄ ²⁻	–	6 мг/л	–	–
Cl ⁻	–	10780 мг/л	–	–
Нефтепродукты	2,5 мг/дм ³	–	2,36 мг/дм ³	–
Фенол	0,6 мг/дм ³	–	–	–
Fe	0,1-0,68 мг/дм ³	10 мг/л	–	6,6 мг/дм ³
Mn	0,14-0,64 мг/дм ³	0,21 мг/л	–	–
Pb	0,06-0,2 мг/дм ³	0,049 мг/л	–	–
Cu	0,03-0,12 мг/дм ³	0,61 мг/л	–	–
Cd	0,0007 мг/дм ³	3 мкг/л	–	–
Zn	0,02-0,06 мг/дм ³	0,93 мкг/л	–	0,428 мг/дм ³
Ni	0,20-0,60 мг/дм ³	0,45 мкг/л	–	–
Cr	–	1,2 мкг/л	–	0,86 мг/дм ³
As	–	32 мкг/л	–	–
Hg	–	1,8 мкг/л	–	–

Примечание: * – единица измерения не указана

Авторами была составлена сводка с результатами химико-аналитических исследований свалочного фильтрата по данным разных авторов (табл. 2). По данным табл. 2 видно, что показатели качественного состава фильтрата имеют большой разброс значений, могут даже различаться на несколько порядков. Это связано как с природными особенностями местности, так и с характеристиками самих полигонов ТКО.

Методы оценки воздействия свалочного фильтрата на компоненты природной среды. Полигоны и несанкционированные места размещения ТКО выступают в качестве мощного источника загрязняющих веществ, мигрирующих в разные среды – в атмосферный воздух, в почвы, в грунтовые воды и поверхностные водные объекты. Наряду с этим, полигоны – это среда выживания и размножения многих патогенных микроорганизмов [14–16]. Утечка фильтрата в грунты возможна даже через изолирующие слои, поскольку состояние и свойства изоляции при многолетней эксплуатации меняются. Риски загрязнения природных компонентов остаются даже при тщательном соблюдении правил обустройства и эксплуатации полигонов [17].

Согласно действующим в России нормативным требованиям экологический мониторинг на территориях объектов размещения отходов (ОРО) включает мониторинг состояния и загрязнения грунтовых и поверхностных вод, атмосферного воздуха, почвенного и растительного покрова. В соответствии с п. 4.6.1 ГОСТ Р 56060-2014 «Мониторинг должен обеспечивать сбор полной информации о процессе образования фильтрата внутри полигона и под полигоном»². Стандартом предусмотрено, каким образом производится выбор точек наблюдений, какие показатели следует определять в пробах природных компонентов. Такой мониторинг осуществляется владельцами или пользователями ОРО, и его результаты, как правило, не публикуются в открытом доступе. В этой ситуации особый интерес представляют собой опубликованные данные о проведении независимых исследований. Как показывает анализ научных публикаций, для оценки влияния свалочного фильтрата на компоненты природной среды используются следующие методы экспериментальных исследований:

1. Изучение химического и микробиологического состава собственно свалочного фильтрата, а также состава грунтовых вод на территории, прилегающей к полигону ТКО [7; 13; 18; 19]. Для оценки вклада полигонов ТКО в загрязнение природных вод точки мониторинга должны выбираться с учетом направления тока грунтовых вод. В качестве условно фоновых точек мониторинга могут рассматриваться скважины, расположенные выше по току подземных вод. А состав воды скважин, расположенных ниже полигона по направлению тока грунтовых вод, позволит охарактеризовать воздействие полигонов. Особенно ценны результаты наблюдений в динамике. В частности, повышение содержания органических веществ или тяжелых металлов в грунтовых водах в зоне воздействия действующих или закрытых полигонов ТКО может свидетельствовать о нарушении целостности изоляции объектов размещения отходов.

2. Сопряженный отбор проб почв и растительности на полигоне и прилегающей к нему территории [4]. В качестве объектов биологического мониторинга выбираются корни и листья растений, типичных для изучаемой местности и широко представленных на прилегающей к полигону территории.

3. Георадарная съемка, или метод георадиолокации. Метод относится к группе геофизических электромагнитных методов и основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ сред с разными электрическими свойствами. Данный метод позволяет выявить переувлажненные участки грунтов, определить время просачивания свалочного фильтрата в грунтовые воды [20].

Вспомогательное значение имеет метод наблюдения за состоянием почв (на предмет наличия загрязнения, замусоривания), растительности (на предмет видового разнообразия, наличия признаков угнетения), за видовым разнообразием наземных позвоночных животных [7]. При оценке степени нарушения растительного покрова активно применяются методы дистанционного зондирования Земли с использованием вегетационного индекса NDVI и некоторых других [21].

Также следует добавить, что для объективной оценки воздействия фильтрата на компоненты прилегающего ландшафта необходимо дополнительно учитывать фильтрационные параметры водонесных горизонтов и скорости движения подземных вод [22].

Из числа методов теоретического познания для оценки воздействия фильтрата полигонов ТКО на компоненты природной среды широко применяется моделирование. Н.В. Хрипунов и О.Я. Асанова вы-

² ГОСТ Р 56060-2014. Производственный экологический мониторинг. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов.

деляют три типа моделей для описания отходов на полигонах: организационные, технологические и социальные [23]. В контексте нашего исследования наибольший интерес представляют модели технологические, а именно модели фильтрационного стока полигонов ТКО и процессов миграции загрязнителей вблизи полигонов. Поскольку «размеры ореолов и интенсивность распространения загрязняющих веществ в компонентах природной среды определяются ландшафтно-геохимическими условиями вмещающей среды, конструктивными особенностями полигонов ТКО и технологией их эксплуатации» [8], не все взаимосвязи между факторами воздействия и состоянием компонентов природной среды установлены, разработка объективной модели, отражающей все факторы, чрезвычайно сложна. Как следствие, второстепенные и малоизученные факторы при моделировании не учитываются. Так, в статье Л.В. Лобачевой и Е.В. Борисовой математическая модель для описания физико-химических процессов миграции веществ в почвогрунтовой толще описывается с учетом конвективного переноса, диффузии и сорбционных процессов, а также таких факторов, как транспирация корнями растений, разбавление фильтрационными водами [24]. Другими примерами подобных исследований могут послужить работы [25; 26]. В ходе моделирования применяются специальные программные комплексы [27]. Некоторые авторы проводят расчеты по методике оценки жизненного цикла [28].

Также важно отметить, что большинство моделей строятся на экспериментальных данных, поэтому они не универсальны, а относятся к конкретным объектам размещения отходов. С одной стороны, они могут применяться для объектов-аналогов. Однако с учетом того, что каждый полигон ТКО имеет свои отличительные черты в инженерно-технологическом плане, и вмещающие их ландшафты всегда имеют специфичные черты, применимость моделей, в целом, ограничена. Потенциал использования моделирования увеличивается, если применять для уточнения и верификации моделей полевые и лабораторные исследования на конкретных объектах размещения отходов.

Результаты оценки воздействия свалочного фильтрата на компоненты природной среды довольно широко освещаются в научной литературе, как и технологии очистки свалочного фильтрата, способы снижения негативного воздействия фильтрата на окружающую среду. В рамках данного исследования они детально не рассматривались. Однако можно переадресовать заинтересованных читателей к источникам [27; 9–33].

Современные тенденции в обращении с ТКО. Следует отметить, что помимо тенденции к увеличению количества образуемых ТКО, а вместе с ними и количества образуемого свалочного фильтрата, также отмечается изменение состава отходов, направляемых на захоронение на полигоны.

Развитие технологического прогресса и растущая доступность различных электронных устройств и приспособлений приводят к увеличению доли этих товаров в образуемых отходах потребления. Зачастую электронные устройства выбрасываются вместе с источниками энергии. В итоге это уже значительно повлияло на морфологический и физико-химический состав ТКО: резко возросло количество электролитов из элементов питания, различных металлов и полупроводников, а также существенно расширился перечень последних, что приводит к еще большему повышению токсичности свалочного фильтрата, особенно в начале метаногенезной стадии полигона. Например, обычный телефон состоит из нескольких видов пластика, железа и керамики, содержит различные сплавы и эпоксидные смолы. В аккумуляторах содержатся кобальт, литий, соединения никеля и кадмия. В целом по России только в 2020 г. было выброшено более 50 млн. т гаджетов (смартфонов, ноутбуков, планшетов, колонок и т. д.). И в этом же году было продано только одних смартфонов еще более 30 млн. штук, которые ориентировочно в трехлетний срок могут выйти из употребления, а значит тоже создадут тысячи тонн отходов III класса опасности. Спустя три года только в одной Тюменской области продажи смартфонов и других «умных» гаджетов возросли более, чем в четыре раза, следовательно, актуальность проблемы отходов электроники нарастает [34].

Продолжает угрожающе расти количество поступающего с отходами пластика. Несмотря на развитие мусоросортировочных предприятий в нашей стране, объемов переработки в настоящий момент совершенно недостаточно. Так, по данным Счетной палаты, в Российской Федерации в 2019 году было накоплено более 65 млн. тонн ТКО, при этом половину этого объема составили различные виды пластика, из которых менее 10 % было переработано. Сжигание мусора также не решает проблемы, так как число мусоросжигательных заводов в России незначительно, чтобы повлиять на ситуацию с переработкой пластика в стране, вдобавок ко всему при сжигании ТКО повышается категория опасности образующегося отхода [35].

Охотнее и чаще всего перерабатываются такие виды пластика, как полиэтилен, полипропилен и полиэтилентерефталат, а меньше всего перерабатываются поливинилхлорид и полистирол. Причины чаще всего связывают с загрязненностью пластиковой тары пищевыми отходами, а также композитностью выбрасываемого пластика (например, бутылка от питьевой воды с тонкой пленкой этикетки и ободком крышки на горлышке, или пластиковая банка от молочных продуктов с многочисленной информацией, нанесенной практически на всей внешней поверхности банки специальной краской и т. д.).

Также следует отметить явление так называемого «даунсайклинга», которое заключается в том, что из собранных пластиковых отходов при вторичной переработке практически всегда получается продукт более низкого качества (например, при переработке пластиковых бутылок от питьевой воды получают пластик, из которого можно сделать в лучшем случае тару для моющих средств, а при переработке этой тары можно получить пластик, который годится при производстве коврового покрытия). В итоге пластик все равно, даже после нескольких циклов использования, оказывается в перерабатываемой части отходов, пополняющей свалочную массу полигона ТКО [35].

Необходимо добавить, что высокая концентрация пластика в свалочной массе оказывает незначительное влияние на химический состав свалочного фильтрата вследствие своей химической инертности. Чаще всего это влияние косвенное, связанное с загрязненностью пластиковых отходов органическими веществами и протеканием интенсивных физико-химических процессов на поверхности пластиковых частиц.

Изменение морфологического состава отходов можно проследить на примере Тюмени (табл. 3). В период с 1977 по 2014 г. существенно увеличилось количество бумаги и картона в составе отходов (на 5,6–9 %), но еще больше рост массы полимерных отходов – более чем в четыре раза [36; 37]. Электронный мусор как отдельная категория отходов не фиксируется.

Таблица 3

Морфологический состав отходов полигонов бытовых/коммунальных отходов в г. Тюмени, % по массе [36; 37]

Категории отходов	Г.Н. Стратонович и др., 1977	К.В. Афонин и др., 2014
Бумага, картон	29,0–32,4	38
Пищевые отходы	29,0–32,4	30
Дерево	–	1,5
Текстиль	–	5,5
Кожа, резина	–	1,3
Полимерные материалы	До 0,5 полиэтиленовая упаковка и до 0,8 изделия в виде игрушек, посуды, письменных принадлежностей	5,5
Кости		0,7
Черный металл	До 4 (в основном, консервные банки)	2,5
Цветной металл	До 0,7	0,5
Стекло	–	4,3
Камни, керамика	–	1,4
Отсев менее 16 мм	–	8,8
Садово-парковые отходы, включая листву деревьев и цветы	До 1,8 в осенний период	–
Сумма учтенных категорий	69,2	100

Учет региональной специфики очень важен при изучении проблематики свалочного фильтрата. В Тюменской области (без автономных округов) по официальным данным на 2022 г. функционировал 21 полигон ТКО [38]. На 2015 г. накопленный на них объем отходов составлял почти 5,5 млн. м³. За период 2015–2020 гг., несмотря на высокие показатели утилизации и обезвреживания отходов, к уже накопленному количеству отходов было направлено на захоронение еще 3,942 млн. т (табл. 4). При высокой насыпной плотности свалочной массы (около 300 кг/м³ при соблюдении технологии) это

количество составляет 13,1 млн. м³. Следовательно, суммарный объем накопленных ТКО увеличился более чем на 200 % и достиг значения 18,6 млн. м³.

Детальных данных об инженерном оснащении полигонов ТКО в Тюменской области в открытом доступе нет. Однако, по времени их сооружения можно заключить, что основными мерами защиты окружающей среды от воздействия полигона являются глинистый экран в основании полигона и изоляция грунтом поверхности полигона. Возраст полигонов так же позволяет предположить, что для них характерна фаза метаногенеза. На новых картах полигонов могут наблюдаться также фазы ацетогенеза, анаэробная и аэробная.

Таблица 4

Показатели обращения с отходами в Тюменской области [39]

Показатель	Годы					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Общее количество образованных отходов производства и потребления, тыс. т	2830,0	2658,9	2468,2	2557,3	2431,2	2081,0
Количество утилизированных и обезвреженных отходов производства и потребления, тыс. т	1962,4	1946,8	1813,2	1899,5	1429,5	2033,1
Доля утилизированных и обезвреженных отходов, %	69,3	73,2	73,5	74,3	58,8	97,6

Пользуясь методикой комплексной оценки загрязненности фильтрационных стоков захоронений отходов, предложенной И.Ю. Кияшко с соавторами [40] для определения важнейшего параметра водного баланса полигона отходов – суммарной величины объема образования фильтрата (V_{ϕ} , м³/год), предлагается использовать формулу:

$$V_{\phi} = \frac{V_{от} * R * 13}{H * 1000}$$

где, $V_{от}$ – объем отходов, складированных на участке, м³; R – количество атмосферных осадков, мм/год; H – высота (глубина) участка захоронения, м.

Для Тюменской области получаем следующие значения (табл. 5): объем отходов ($V_{от}$) в 2015 и 2020 гг. составил, соответственно, 5,5 и 18,6 млн. м³. Годовое количество осадков по многолетним климатическим данным варьируется от 400 до 550 мм в год, для расчета возьмем минимальное значение (так как в изучаемый период с 2015 по 2020 гг. были зафиксированы года с гораздо меньшим количеством осадков, а также года, в течение которых количество осадков находилось в рамках допустимых значений). В соответствии с действующими проектными решениями глубина полигонов закладывается исходя из численности населения в близлежащих населенных пунктах, указанные объекты в подавляющем большинстве случаев находятся вблизи небольших населенных пунктов (менее 50 тыс. чел), поэтому проектируемая глубина полигона 10–15 м, но есть и крупные полигоны с высотой 30–40 м [41], среднее значение составляет 15 м.

Таблица 5

Расчетные показатели образования свалочного фильтрата на полигонах ТКО в Тюменской области

Показатель	2015	2020
Объем отходов, млн. м ³ ($V_{от}$)	5,5	18,6
Количество атмосферных осадков, мм/год (R)	400	400
Высота участка захоронения, м (H)	15	15
Объем свалочного фильтрата, млн. м ³ /год (V_{ϕ})	1,9	6,5

В результате проведенных вычислений можно сделать вывод, что объем образуемого свалочного фильтрата на действующих полигонах ТКО Тюменской области стремительно растет. Так, на 2015

г. объем фильтрата составлял около 1,9 млн. м³ в год, однако к 2020 г. данный показатель вырос более чем в 3 раза и составляет уже более 6,5 млн. м³ в год. Тенденция к росту количества образуемого фильтрата сохранится.

Официальных данных по качественным характеристикам свалочного фильтрата полигонов ТКО в Тюменской области и влиянию фильтрата на окружающую среду в открытом доступе нет. Есть только общая оценка наличия или отсутствия влияния ОРО на окружающую среду. Так, согласно данным Государственного реестра объектов размещения отходов на 2022 г., негативное воздействие на окружающую среду имеется только на четырех из 21 полигонов ТКО в Тюменской области [38]. Это три полигона на месторождениях углеводородного сырья (на Тямкинском, Кальчинском и Урненском месторождениях) и полигон в с. Уват. На полигонах, приуроченных к месторождениям, совместно хранятся коммунальные и промышленных отходы, поэтому можно предположить, что вред окружающей среде исходит в большей степени от промышленных отходов.

По крупнейшим в области полигонам, принимающим отходы населения, – полигонам в городах Тюмень и Тобольск, в ГРОРО имеется запись об отсутствии негативного воздействия на окружающую среду [38]. Вместе с тем, активистами межрегиональной экологической общественной организации «Зеленый Фронт» в 2021 г. выявлено, что фильтрат с тюменского полигона ТКО загрязняет окружающую среду (на земельном участке установлено превышение содержания бария, хрома, лития, железа, свинца, меди, хлорид-иона, нитрат иона, обменного аммония), а на полигоне ТКО в Тобольске наблюдается загрязнение почв азотом аммонийным, нитратом, кальцием, хлоридом, литием, магнием, кадмием, хромом, свинцом, мышьяком, медью, барием [42]. Вопрос загрязнения окружающей среды свалочным фильтратом на других полигонах ТКО Тюменской области требует дополнительных исследований.

Заключение

В Российской Федерации растет объем образования ТКО и меняется их состав. Происходит добавление новых видов загрязнителей в составе отходов, что сказывается на составе свалочного фильтрата. В России сформирован научно-теоретический аппарат и развиты прикладные инструменты изучения свалочного фильтрата полигонов ТКО. Установлено, что ключевыми факторами, определяющими объем образования свалочного фильтрата, являются количество атмосферных осадков и влажность свалочной массы. Свалочный фильтрат вызывает загрязнение различных компонентов природной среды тяжелыми металлами, неорганическими соединениями и особенно органическими кислотами, причем это воздействие сохраняется даже после закрытия полигонов. Большой разброс значений концентраций поллютантов в свалочном фильтрате в разных регионах страны означает высокую степень зависимости этих показателей от местных гидрогеологических и других природных факторов, а также от характеристик самих полигонов ТКО. Мониторинг уровня воздействия полигонов ТКО на компоненты природной среды может осуществляться по разным направлениям (состояние растительного покрова, гидрогеологический режим, состояние почвенного покрова, состояние воздушной среды), что позволяет анализировать динамику воздействия и осуществлять мероприятия по его снижению.

Вопрос протяженности зоны химического загрязнения грунтовых вод и почв территорий, прилегающих к полигонам ТКО, в Российской Федерации в целом и в Тюменской области в частности изучен недостаточно. Необходимо дальнейшее исследование загрязнения грунтовых вод и почв в разных ландшафтно-геохимических условиях и на разных стадиях жизненного цикла полигонов ТКО, в идеале – на уровне каждого конкретного полигона. Также большое внимание следует уделять оптимизации системы экологического мониторинга на полигонах отходов и открытости его результатов для заинтересованной общественности. Высока актуальность разработки моделей, адекватно отображающих основные закономерности образования свалочного фильтрата в разных природных условиях и на разных стадиях жизненного цикла полигонов.

Снижение рисков экологической безопасности в вопросах образования и накопления ТКО требует консолидированных усилий государства и научной общественности и продолжительных исследований, результатами которых должны становиться в числе прочего научно обоснованные комплексные методики снижения объема образования свалочных фильтратов и их очистки, а также устранения экологических последствий их воздействия на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021_/?ysclid=lnrezl3g3o638666217 (дата обращения: 10.10.2023).
2. Шамсиева Г.Ш., Найман С.М., Тунакова Ю.А. Исследование фильтрационных вод Самосыровской свалки города Казани как источника загрязнения природной среды // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 2. С. 450–453.
3. Вайсман Я.И., Чудинов С.Ю., Кравченко Д.С. Управление водным балансом полигона ТБО на примере полигона в г. Краснокамске // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2012. № 1. С. 43–57.
4. Подлипский И.И. Полигоны бытовых отходов как объекты геологического исследования // Вестник СПбГУ. 2010. № 1(7). С. 15–31.
5. Гуман О.М., Долинина И.А. О возможности использования теории геологического подобия при прогнозировании загрязнения подземных вод на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов // Известия УГГУ. 2001. № 13. С. 228–232.
6. Левин Е.В., Сагитов Р.Ф., Гамм Т.А., Шабанова С.В., Баширов В.Д. Экологическое обоснование места размещения полигона твердых бытовых отходов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3(59). С. 182–184.
7. Степаненко Е.Е., Пospelова О.А., Зеленская Т.Г. Исследование химического состава фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. № 1(3). С. 525–527.
8. Сметанин В.И., Стрельников А.К., Пчелкин В.В. Образование фильтрата на свалках и полигонах ТБО // Природообустройство. 2014. № 3. С. 25–28.
9. Сметанин В.И., Стрельников А.К. Лизиметрические исследования водного баланса применительно к свалочным грунтам полигонов твердых бытовых отходов // Природообустройство. 2015. № 2. С. 21–23.
10. Совершенствование управления жилищно-коммунальным хозяйством. М.: Изд-во Отдел научно-технической информации АКХ, 1982. С. 57–62.
11. Галицкая И.В., Путилина В.С., Юганова Т.И. Поведение органического вещества в фильтрате и подстилающих породах свалки. Влияние на миграцию тяжелых металлов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2007. № 6. С. 483–493.
12. Очистка стоков и фильтрата с полигона ТБО. URL: <https://www.vo-da.ru/articles/stoki-poligona-tbo/sostav-filtrata> (дата обращения: 29.09.2023).
13. Джамалова Г.А. Антропогенный пресс ТКО на водный режим полигона // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2014. № 165. С. 112–120.
14. Килин Ю.А., Минькевич И.И., Клещкина О.В., Катков В.А. Гидрогеоэкологические условия полигонов твердых бытовых и промышленных отходов в Пермском крае // Вестник Пермского университета. 2012. № 1(14). С. 53–66.
15. Трифонова Т.А., Селиванова Н.В., Ширкин Л.А., Селиванов О.Г., Ильина М.Е. Проблемы утилизации ТБО на полигонах // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 3(2). С. 685–687.
16. Очистка фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов / Поваров А.А., Селиванова Н.В., Трифонова Т.А., Павлова В.Ф., Селиванов О.Г., Ильина М.Е., Ширкин Л.А., Торшин В.Б. // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 1(3). С. 661–664.
17. Коньгин А.А. Комплексная технология очистки фильтрата полигонов захоронения твердых бытовых отходов // АCADEMIA. Архитектура и строительство. 2011. № 4. С. 105–109.
18. Шарова О.А. Влияние полигона твердых бытовых отходов на состояние подземных вод (на примере полигона ТБО р.п. Красный Яр Астраханской области) // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19, № 5. С. 1741–1743.
19. Шарова О.А., Бармин А.Н. Экологический мониторинг на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия естественные науки. 2013. № 3(146). Вып. 22. С. 166–169.
20. Шаповалов Д.А., Скубиев С.И., Холин Р.Н., Скоробогатова У.Е. Применение георадарного метода для оценки геоэкологического состояния территорий полигонов твердых коммунальных отходов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. Т. 63, № 6. С. 70–79.
21. Bilotta G., Barrile V., Meduri G. Recognition and classification of illegal dumps with object based image analysis of satellite data // Extended abstracts Third annual hyperspectral imaging conference. 15–16 may 2012. Rome, 2012. V. 2. P. 12–17.
22. Ашихмина Т.В. Геоэкологический мониторинг в управлении экологической безопасностью объектов размещения твердых коммунальных отходов (ТКО) // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 28–34.
23. Хрипунов Н.В., Асанова О.Я. Моделирование процессов проектирования, эксплуатации и рекультивации полигонов твердых бытовых отходов // Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук: Материалы V Международной научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых, Тольятти, 22–24 апреля 2019 года. Тольятти, 2019. С. 465–468.

24. Лобачева Л.В., Борисова Е.В. Моделирование процессов миграции загрязнений от свалки твердых бытовых отходов // Компьютерные исследования и моделирование. 2020. Т. 12, № 2. С. 369–385.
25. Podchashinskiy Yu., Kotsiuba I., Yelnikova T. Math modeling and analysis of the impact of municipal solid waste landfill leachate on the environment // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 1, No. 10(85). P. 4-10.
26. Иванов В.Н., Лобачева Л.В., Кундряков В.В. Моделирование распространения загрязнений в подземном потоке от полигона твердых бытовых отходов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 183–187.
27. Распространение свалочного фильтрата в грунтовые воды / А. Лонгобарди, А.Н. Елизарьев, Э.С. Насырова, Е.Н. Елизарьева, Л.Ю. Кияшко, К.Ю. Кабанов // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 36–43.
28. Старостина В.Ю. Кристенсен Т.Х. Оценка жизненного цикла систем управления муниципальными отходами // XXI век. Техносферная безопасность. 2022. Т. 7, № 2(26). С. 142–150.
29. Сунгатуллин Р.Х., Хазиев М.И., Шанин А.Е. Геоэкологические исследования на Самосыровском полигоне твердых бытовых отходов // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2008. Т. 150, № 1. С. 168–181.
30. Комплексная оценка влияния полигона ТБПО на экологическую обстановку района в условиях крайнего севера / Зосин А.П., Приймак Т.И., Маслобоев В.А., Сулименко Л.П., Мингалева Т.А. // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011. № 6. С. 499–511.
31. Замотаев И.В., Иванов И.В., Михеев П.В., Белобров В.П. Оценка состояния почв и растительности в районах размещения свалок и полигонов твердых бытовых отходов (обзор) // Почвоведение. 2018. № 7. С. 907–924.
32. Шаповалов Д.А., Холин Р.Н., Скоробогатова У.Е. Моделирование и оценка загрязнения грунтовых и поверхностных вод фильтратом полигона твердых бытовых отходов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. Т. 64, № 2. С. 8–19.
33. Разработка технологической схемы выполнения работ по определению границ загрязнения земельных участков полигонами твердых коммунальных отходов / Уставич Г.А., Дубровский А.В., Пошивайло Я.Г., Грекова А.О., Малыгина О.И., Каленицкий А.И. // Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 2. С. 120–135.
34. Интернет-портал РБК. Как правильно утилизировать ненужный телефон с пользой для экологии. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/cmrm/5fe2489c9a79472f599be0af> (дата обращения: 11.11.2023).
35. Хайтек. 90 % на свалку: какие проблемы у переработки пластика в России? URL: <https://hightech.fm/2021/04/15/recycle-russia-plastic> (дата обращения: 11.10.2023).
36. Стратонович Г.Н., Кузьменкова А.М., Бурусова О.А. Исследование твердых бытовых отходов жилых районов Тюмени // Гигиена и санитария. 1977. №7. С. 96–97.
37. Афонин К.В., Жилина Т.С., Загорская А.А. Расчет выбросов на полигонах твердых бытовых отходов // Фундаментальные исследования. 2014. № 11. С. 987–990.
38. Государственный реестр объектов размещения отходов (дата публикации: 13.12.2022). URL: https://trn.gov.ru/opendata/7703381225-groro?sphrase_id=1219419 (дата обращения: 15.10.2023).
39. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2020 году / Официальный портал органов власти Тюменской области. URL: https://admtumen.ru/files/upload/OIV/D_nedro/Доклад%20об%20экологической%20ситуации%20в%20Тюменской%20области%20в%202020%20году.pdf (дата обращения: 15.10.2023).
40. Кияшко И.Ю., Елизарьев А.Н., Фащевская Т.Б., Красногорская Н.Н. Разработка методики комплексной оценки загрязненности фильтрационных стоков захоронений отходов // Вестник ИрГТУ. 2010. № 2(42). С. 6–11.
41. Инструкция по проектированию эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов (утв. Министерством строительства Российской Федерации 02 ноября 1996). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146721/ (дата обращения: 15.10.2023).
42. Зеленый фронт. Отсутствие раздельного сбора ТКО в Тюменской области ведет к невозможности реализации терсхемы. URL: <https://greenfront.su/post/6467> (дата обращения: 15.10.2023).

Поступила в редакцию 13.11.2023

Притужалова Ольга Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и природопользования, научный сотрудник
E-mail: o.a.prituzhalova@utmn.ru

Жованик Илья Александрович, аспирант, лаборант-исследователь
E-mail: i.a.zhovanik@utmn.ru

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»
625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6

O.A. Prituzhalova, I.A. Zhovaniк

ANALYSIS OF THE STUDY OF LANDFILL FILTRATE AT RUSSIAN MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-4-413-426

One of the most acute environmental problems of our time is the problem of handling solid municipal waste (SMW). Landfills are significant sources of environmental impact, the main factors of which are the release of landfill gases and landfill filtrate. The purpose of the article is to identify “white spots” in the issues of the study of landfill filtrate at Russian landfills and to pose topical research questions. A review of studies on the volume and composition of landfill filtrate, methods for studying its effects on the components of the natural environment was completed. In order to assess the impact on the composition of waste and the filtrate formed during their placement at SMW landfills, modern trends in the handling of SMW are considered: an increase in the share of electronic garbage and plastic in the composition of waste. The volume of landfill filtrate formation at SMW landfills is estimated using the example of the Tyumen region. It has been established that landfill filtrate has a different composition depending on the stage of the landfill life cycle and poses a real environmental hazard. The data of various researchers on the concentrations of pollutants in landfill filtrate are poorly comparable, since the filtrate at each landfill has its own distinctive features due to the specifics of the arrangement and operation of the landfill, as well as the specifics of its location. Under these conditions, the prospects for research on the impact of landfill filtrate on the natural environment are primarily associated with the study of the impact of each specific landfill, as well as with the development of models that adequately reflect the basic patterns of landfill filtrate formation in different conditions.

Keywords: solid municipal waste, landfills, landfill filtrate, composition of landfill filtrate, groundwater pollution.

REFERENCES

1. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2021 godu* [State Report on the state and environmental protection of the Russian Federation in 2021], Available at: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021_/?ysclid=lnrezl3g3o638666217 (accessed: 10.10.2023) (in Russ.).
2. Shamsieva G.Sh., Nayman S.M., Tunakova Yu.A. *Issledovanie fil'tratsionnykh vod Samosyrovskoy svalki goroda Kazani kak istochnika zagryazneniya prirodnoy sredy* [Study of filtration waters of the Samosyrov landfill in the city of Kazan as a source of environmental pollution], in *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, no. 2, pp. 450-453 (in Russ.).
3. Vaisman Ya.I., Chudinov S.Yu., Kravchenko D.S. [Management of the water balance of SHW landfill waste on the example of the landfill in the city Krasnokamsk], in *Vestn. Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2012, no. 1, pp. 43-57 (in Russ.).
4. Podlipskiy I.I. *Poligony bytovykh otkhodov kak ob'ekty geologicheskogo issledovaniya* [Domestic waste landfills as objects of geological research], in *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*, 2010, no. 1(7), pp. 15-31 (in Russ.).
5. Guman O.M., Dolinina I.A. *O vozmozhnosti ispol'zovaniya teorii geologicheskogo podobiya pri prognozirovanii zagryazneniya podzemnykh vod na poligonakh tverdykh bytovykh i promyshlennykh otkhodov* [On the possibility of using the theory of geological similarity in predicting groundwater pollution at solid domestic and industrial waste sites], in *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2001, no. 13, pp. 228-232 (in Russ.).
6. Levin E.V., Sagitov R.F., Gamm T.A., Shabanova S.V., Bashirov V.D. [Ecological substantiation of the place for solid wastes landfill location], in *Izvestiya Orenburg. Gos. Agrar. Univ. [Izvestia Orenburg State Agrarian University]*, 2016, no. 3(59), pp. 182-184 (in Russ.).
7. Stepanenko E.E., Pospelova O.A., Zelenskaya T.G. [Research of the chemical composition of regenerated flows in hard human waste polygon], in *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2009, no. 1(3), pp. 525-527 (in Russ.).
8. Smetanin V.I., Strel'nikov A.K., Pchelkin V.V. [Formation of filtrate on dumps and sdw (solid domestic waste) sites], in *Prirodoobustroystvo [Environmental Engineering]*, 2014, no. 3, pp. 25-28 (in Russ.).
9. Smetanin V.I., Strel'nikov A.K. *Lizimetricheskie issledovaniya vodnogo balansa primenitel'no k svalochnym gruntam poligonov tverdykh bytovykh otkhodov* [Lysimetric studies of water balance in relation to landfill soils of municipal solid waste landfills], in *Prirodoobustroystvo [Environmental Engineering]*, 2015, no. 2, pp. 21-23 (in Russ.).
10. *Sovershenstvovanie upravleniya zhilishchno-kommunal'nym khozyaystvom* [Improving the management of housing and communal services], Moscow: Otdel nauchno-tekhnicheskoy informatsii AKKh Publ., 1982, pp. 57-62 (in Russ.).
11. Galitskaya I.V., Putilina V.S., Yuganova T.I. *Povedenie organicheskogo veshchestva v fil'trate i podstilayushchikh porodakh svalki. Vliyanie na migratsiyu tyazhelykh metallov* [Behavior of organic matter in leachate and underlying

- rocks of a landfill. Influence on the migration of heavy metals], in *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2007, no. 6, pp. 483-493 (in Russ.).
12. *Ochistka stokov i fil'trata s poligona TBO* [Treatment of wastewater and leachate from solid waste landfill], Available at: <https://www.vo-da.ru/articles/stoki-poligona-tbo/sostav-filtrata> (accessed: 09.29.2023) (in Russ.).
 13. Dzhamalova G.A. [Anthropogenic press of MSW on water regime of landfill], in *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena*, 2014, to. 165, pp. 112-120 (in Russ.).
 14. Kilin Yu.A., Minkevich I.I., Kletskina O.V., Katkov V.A. [Hydrogeoecological conditions on landfills in the Perm region], in *Vestnik Permskogo universiteta*, 2012, no. 1(14), pp. 53-66 (in Russ.).
 15. Trifonova T.A., Selivanova N.V., Shirkin L.A., Selivanov O.G., Ilyina M.E. [Problems of utilization the solid household waste in landfills], in *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2013, no. 3(2), pp. 685-687 (in Russ.).
 16. Povarov A.A., Selivanova N.V., Trifonova T.A., Pavlova V.F., Selivanov O.G., Il'ina M.E., Shirkin L.A., Torshin V.B. [Purification of leakage waters from solid household waste polygon], in *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2014, no. 1(3), pp. 661-664 (in Russ.).
 17. Konygin A.A. [Complex technology for filtrate treatment at solid domestic waste landfills], in *ACADEMIA. Arkhitektura i stroitel'stvo*, 2011, no. 4, pp. 105-109 (in Russ.).
 18. Sharova O.A. *Vliyanie poligona tverdykh bytovykh otkhodov na sostoyanie podzemnykh vod (na primere poligona TBO r.p. Krasnyy Yar Astrakhanskoj oblasti)* [The influence of a solid waste landfill on the state of groundwater (using the example of a solid waste landfill in the Krasny Yar settlement of the Astrakhan region)], in *Vestnik Tambovskogo universiteta*, 2014, vol. 19, no. 5, pp. 1741-1743 (in Russ.).
 19. Sharova O.A., Barmin A.N. [Environmental monitoring of ground municipal solid waste and industrial], in *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya estestvennye nauki*, 2013, no. 3(146), iss. 22, pp. 166-169 (in Russ.).
 20. Shapovalov D.A., Skubiev S.I., Kholin R.N., Skorobogatova U.E. [Application of the georadar method for the assess the geoecological state of the territories of solid waste landfills], in *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal [International Agricultural Journal]*, 2020, vol. 63, no. 6, pp. 70-79 (in Russ.).
 21. Bilotta G., Barrile V., Meduri G. Recognition and classification of illegal dumps with object based image analysis of satellite data, in *Extended abstracts Thirddannual hyperspectral imaging conf.* Rome, Italy, 2012, vol. 2, pp. 12-17.
 22. Ashikhmina T.V. [Geo-environmental monitoring in environmental safety management safety of solid municipal waste disposal facilities], in *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in current natural sciences]*, 2022, no. 11, pp. 28-34 (in Russ.).
 23. Khripunov N.V., Asanova O.Ya. *Modelirovanie protsessov proektirovaniya, ekspluatatsii i rekul'tivatsii poligonov tverdykh bytovykh otkhodov* [Modeling the processes of design, operation and reclamation of solid waste landfills], in *Mater. V Mezhd. nauch.-prakt. konf. (shkoly-seminara) molodykh uchenykh "Prikladnaya matematika i informatika: sovremennye issledovaniya v oblasti estestvennykh i tekhnicheskikh nauk"*, Tolyatti, 2019, pp. 465-468 (in Russ.).
 24. Lobacheva L.V., Borisova E.V. [Simulation of pollution migration processes at municipal solid waste landfills], in *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie*, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 369-385 (in Russ.).
 25. Podchashinskiy Yu., Kotsiuba I., Yelnikova T. Math modeling and analysis of the impact of municipal solid waste landfill leachate on the environment, in *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, vol. 1, no. 10(85), pp. 4-10.
 26. Ivanov V.N., Lobacheva L.V., Kundryakov V.V. [The modeling of the prevalence of pollution in underground flow from scrap location], in *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya [Scientific and Technical Volga region Bulletin]*, 2012, no. 5, pp. 183-187 (in Russ.).
 27. Longobardi A., Elizariyev A.N., Nasyrova E.S., Elizaryeva E.N., Kiyashko L.U., Kabanov K.U. [Spread of landfill leachate into groundwater], in *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and Applied Ecology]*, 2020, no. 2, pp. 36-43 (in Russ.).
 28. Starostina V.Yu., Christensen T.H. [Life-cycle assessment for municipal waste management systems], in *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' [XXI Century. Technosphere Safety]*, 2022, vol. 7, no. 2(26), pp. 142-150 (in Russ.).
 29. Sungatullin R.Kh., Khaziev M.I., Shanin A.E. *Geoekologicheskie issledovaniya na Samosyrovskom poligone tverdykh bytovykh otkhodov* [Geoecological studies at the Samosyrovsky solid waste landfill], in *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2008, vol. 150, no. 1, pp. 168-181 (in Russ.).
 30. Zosin A.P., Priymak T.I., Masloboev V.A., Sulimenko L.P., Mingaleva T.A. [A complex assessment of the impact of solid domestic and industrial waste landfill on the local environment in the Far North], in *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, 2011, no. 6, pp. 499-511 (in Russ.).
 31. Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Mikheev P.V., Belobrov V.P. [Assessment of the state of soils and vegetation in areas of landfills and municipal solid waste sites (a review)], in *Eurasian Soil Science*, 2018, no. 7, pp. 907-924 (in Russ.).

32. Shapovalov D.A., Kholin R.N., Skorobogatova U.E. [Simulation and assessment of groundwater and surface water pollution by the filtrate of solid waste landfill], in *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal [International Agricultural Journal]*, 2021, vol. 64, no. 2, P. 8-19 (in Russ.).
33. Ustavich G.A., Dubrovskiy A.V., Poshivaylo Ya.G., Grekova A.O., Malygina O.I., Kalenitskiy A.I. [Development of technological scheme for carrying out determination of land plot boundary pollution with MSW landfills], in *Vestnik SGUGiT*, 2023, vol. 28, no. 2, pp. 120-135 (in Russ.).
34. *Kak pravil'no utilizirovat' nenuzhnyj telefon s pol'zoy dlya ekologii, Internet-portal RBK* [How to dispose of an unnecessary phone properly with environmental benefits / RBC Internet portal], Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/green/cmrm/5fe2489c9a79472f599be0af> (accessed: 11.11.2023) (in Russ.).
35. *Khaytek. 90 % na svalku: kakie problemy u pererabotki plastika v Rossii* [Hightech. 90 % to landfill: what problems does plastic recycling have in Russia?], Available at: <https://hightech.fm/2021/04/15/recycle-russia-plastic> (accessed: 10.11.2023) (in Russ.).
36. Stratonovich G.N., Kuz'menkova A.M., Burusova O.A. *Issledovanie tverdykh bytovykh otkhodov zhilykh rayonov Tyumeni* [Investigation of solid household waste in residential areas of Tyumen], in *Gigiya i sanitariya*, 1977, no. 7, pp. 96-97 (in Russ.).
37. Afonin K.V., ZHilina T.S., Zagorskaya A.A. [Calculations of emissions solid waste landfills], in *Fundamental'nye issledovaniya [The fundamental researches]*, 2014, no. 11, pp. 987-990 (in Russ.).
38. *Gosudarstvennyy reestr ob'ektov razmeshcheniya otkhodov (data publikatsii 13.12.2022)* [The State Register of Waste Disposal facilities (publication date 13.12.2022)], Available at: https://rpn.gov.ru/opendata/7703381225-groro?sphrase_id=1219419 (accessed 10.15.2023) (in Russ.).
39. *Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Tyumenskoy oblasti v 2020 godu, Ofitsial'nyy portal organov vlasti Tyumenskoy oblasti* [Report on the environmental situation in the Tyumen region in 2020 / The official portal of the Tyumen region authorities], Available at: https://admtymen.ru/files/upload/OIV/D_nedro/Доклад%20об%20экологической%20ситуации%20в%20Тюменской%20области%20в%202020%20году.pdf (accessed: 10.15.2023) (in Russ.).
40. Kiyashko I.Yu., Elizariev A.N., Fashchevskaya T.B., Krasnogorskaya N.N. [Development of the procedure of the integrated assessment of the filtration drainage contamination of waste burial], in *Vestn. Irkutskogo gos. Tekhn. Univ. [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*, 2010, no. 2(42), pp. 6-11 (in Russ.).
41. *Instruktsiya po proektirovaniyu ekspluatatsii i rekul'tivatsii poligonov dlya tverdykh bytovykh otkhodov (utv. Ministerstvom stroitel'stva Rossiyskoy Federatsii 02 noyabrya 1996)* [Instructions for the design of operation and reclamation of landfills for municipal solid waste (approved by the Ministry of Construction of the Russian Federation on November 2, 1996)], Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146721/ (accessed: 10.15.2023) (in Russ.).
42. *Zelenyy front. Otsutstvie razdel'nogo sbora TKO v Tyumenskoy oblasti vedet k nevozmozhnosti realizatsii terskhemy* [The green front. The lack of separate collection of MSW in the Tyumen region leads to the impossibility of implementing the territorial scheme], Available at: <https://greenfront.su/post/6467> (accessed: 10.15.2023) (in Russ.).

Received 13.11.2023

Prituzhalova O.A., Candidate of Geography, Associate Professor of the Department of Geocology and Environmental Management, Researcher

E-mail: o.a.prituzhalova@utmn.ru

Zhovanik I.A., Graduate Student, Laboratory Researcher

E-mail: i.a.zhovanik@utmn.ru

University of Tyumen

Volodarskogo st., 6, Tyumen, Russia, 625003