

УТИЛИЗАЦИЯ И ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

УДК 628.4

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЛИГОНОВ ТКО МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2025 г. Е. С. Соломатина^{1,*}, Г. А. Зарницын¹

*Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН,
Уланский пер. 13, стр.2, Москва, 101000 Россия*

**E-mail: baira-lala@mail.ru*

Поступила в редакцию 05.02.2024 г.

После доработки 10.11.2024 г.

Принята к публикации 25.11.2024 г.

В статье представлен результат исследования морфологического состава отходов нескольких крупных полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) Московской области в зависимости от их географического расположения, возраста, даты закрытия полигонов, а также изменение соотношения компонентов по глубине. Исходными данными являлись результаты инженерных изысканий, выполненных в процессе рекультивации полигонов ТКО. По результатам изучения литературных источников проанализированы общие сведения об объемах отходов, поступающих на полигоны Московской области, их источниках, усредненном морфологическом составе, факторах, влияющих на их отдельные компоненты, механизмах разложения органического вещества и его воздействия на окружающую среду. Установлено, что половину, а местами и до 60%, свалочного тела составляют компоненты органических фракций, при этом их содержание закономерно выше на полигонах моложе 50 лет, а также в верхних слоях свалочных тел. Переход органики в твердые частицы происходит в интервале до 15 м, а на глубине около 5 м отмечена наибольшая переработка пищевых отходов. Остальные, относительно инертные фракции проходят стадию дробления и постепенно переходят в отсев, составляя в среднем 40–45%.

Ключевые слова: полигон ТКО, морфологический состав, компоненты ТКО, органическая составляющая ТКО

DOI: 10.31857/S0869780925010059 EDN: DNYHUZ

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение доли городского населения, рост крупных агломераций, изменение структуры сельского хозяйства в сторону автоматизации, экономический и технологический рост стран, изменение структуры потребления приводят не только к росту общего объема коммунальных отходов, но и к изменению их морфологии. Переход к одноразовым изделиям в медицине, общественном питании, быту и других сферах человеческой жизни, широкое распространение полимерных материалов значительно увеличивают количество отходов ежегодно [17].

В Российской Федерации, по данным территориальных схем обращения с отходами (на 2019 г.), образуется порядка 65 млн т твердых коммунальных отходов (ТКО) в год с темпом роста объемов порядка 1–2%. В 2019 г. на территории страны

принимали отходы 2 832 полигона, при этом срок их эксплуатации при существующих мощностях истекает в интервале 2022–2024 гг. Количество несанкционированных свалок составило 27 189, общей площадью 12 755 га [5]. Наибольшие объемы отходов образуются в крупных городах и густонаселенных регионах, так на Москву и Московскую обл. приходится более 15% общего объема отходов.

В России в 2018 г. стартовала государственная программа “Чистая страна”. Ключевая цель проекта — уменьшить экологический ущерб, связанный с захоронением твердых бытовых отходов, снизить экологические риски, связанные с объектами накопленного вреда окружающей среде, а также создать интерактивную информационную систему, которая обеспечит выявление и ликвидацию несанкционированных свалок мусора на основании сообщений граждан и общественных организаций [13]. В рамках этой программы запроектировано,

реконструировано и построено значительное количество мусоросортировочных комплексов, а также проведена рекультивация несанкционированных свалок.

Опыт проектирования мусоросортировочных комплексов и рекультивации свалок показал, что существует ряд вопросов и сложностей как в области подбора участка [8] и проектирования, так и при проведении инженерных изысканий [1, 2].

Виды и способы поступления загрязняющих веществ в окружающую среду напрямую связаны с видами коммунальных отходов, поступающих на свалку. В городской среде около 70% отходов поступают из жилого фонда, остальные 30% распределяются между прочими объектами городского хозяйства [7]. Условно выделяются 13 компонентов, из которых состоят российские ТКО: бумага, картон, пищевые отходы, дерево, металл, текстиль, кость, стекло, кожа и резина, камень, полимерные материалы, не классифицируемые отходы и отсеиваемые [10]. Основным параметром, позволяющим качественно оценить ТКО, — морфологический состав отходов. Эта характеристика непостоянна и сильно зависит от времени года, конкретного региона и валового регионального продукта (ВРП), отраслей промышленности, характера застройки, типа сортировки мусора. Кроме того, состав мусора закономерно меняется вместе с технологическими изменениями. Так, за последние десятилетия количество и разнообразие полимеров значительно выросло. Основные компоненты ТКО, наносящие вред окружающей среде за счет биодegradации, — это пищевые отходы и загрязненные ими бумага и картон, дерево, садовые отходы, часть текстиля [3]. Суммарное количество таких отходов составляет порядка 50–60%, они в свою очередь разлагаются в естественных условиях (брожение, гниение, тление) и являются питательной средой для патогенной микрофлоры и средой обитания гельминтов, цист, грызунов, птиц, насекомых, бродячих животных.

Основной вред от биодegradации органики на полигоне — ее неконтролируемое и медленное разложение с выделением фильтрата, свалочного газа и загрязнением поверхностного стока дождевых и талых вод. Принципиальным отличием свалочных грунтов от природных является то, что органические компоненты находятся в неразложившемся или неполностью разложившемся состоянии. Причем такие органические вещества, как полимеры, практически стабильны. Основным агентом, влияющим на состав твердых, жидких и газообразных компонентов свалочных грунтов, — микроорганизмы. Они обуславливают минерализацию, гумификацию и консервацию органики, разрушение и трансформацию минерального вещества и газообразование, активно преобразуя все органические компоненты грунта [6].

Таким образом, свалочное тело представляет собой современное геологическое тело, сложенное техногенным грунтом, основными отличиями которого от природных объектов являются скорость формирования, состав и динамические характеристики процесса биогеохимического разложения. Закрытый полигон (прекративший работу) есть скопление “осадка”, преобразующегося в осадочную горную породу. Стадия диагенеза протекает в виде процесса растворения веществ и минерализации органической составляющей [11].

Поскольку свалочное тело можно рассматривать как геологическое тело, то к нему применимы и способы исследования, используемые в инженерной геологии. В настоящей статье на основании имеющихся фактических данных исследуется твердая составляющая свалочного тела: оцениваются географические и социально-экономические параметры, влияющие на исходный состав отходов, анализируется изменение состава по глубине и в зависимости от времени эксплуатации полигонов.

СВЕДЕНИЯ О ПОСТУПАЮЩИХ ОТХОДАХ НА ПОЛИГОНЫ ТКО МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Наиболее детальный анализ отходов проводился в рамках программы “Чистая страна” на этапе планирования территориальной схемы обращения с отходами в 2017–2019 гг. К основным факторам, влияющим на состав отходов, можно отнести:

- высокую плотность населения;
- ярко выраженную сезонность в образовании отходов в связи с увеличением численности проживающих в Московской обл. в летний период;
- неравномерное территориальное распределение полигонов ТКО, сконцентрированных внутри Малого Московского бетонного кольца (далее — ММБК);
- запрет на захоронение отходов внутри г. Москва;
- дефицит свободных земель, отвечающих требованиям экологической безопасности при размещении объектов по обращению с отходами;
- относительно высокий уровень жизни населения.

Основные источники образования отходов:

- многоквартирный дом;
- индивидуальный жилой дом (группа индивидуальных жилых домов);
- административное учреждение;
- предприятие общественного питания;
- дошкольное или общеобразовательное учреждение;
- гостиница, другое место временного размещения;

- кладбище;
- садоводческое, дачное, огородническое некоммерческое товарищество;
- спортивный объект;
- производственный объект;
- объект культуры;
- объект торговли;
- автосервис, автостоянка;
- службы быта: ремонт обуви, ремонт техники, парикмахерская, прачечная;
- химчистка, баня;
- другие виды организаций.

Основная масса ТКО образуется на северо-востоке, востоке и юго-востоке Московской обл. (в районах, прилегающих к городу). При этом наименьшее количество отходов образуется на западе Московской обл., на границе с другими областями.

В Московской обл. по данным 2016 г. ежегодно образуется порядка 9.3 млн т отходов производства и потребления. Данные о количестве образующихся отходов представлены по их видам в табл. 1 [12]. Усредненный морфологический состав отходов представлен на рис. 1.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТКО

До середины XX в. отходы в основном были пищевые, которые утилизировали в выгребных ямах за пределами города или в оврагах, а часть мусора сжигали в печах и каминах. Характерными



Рис. 1. Морфологический состав отходов, поступающих на полигоны ТКО [12].

особенностями ТКО Москвы являются низкое содержание бумаги и пищевых отходов и преобладание фракции отсева. В табл. 2 приведены данные из различных источников об изменении состава отходов в Москве в период с 1928 по 2007 г. [14, 15]. После 1930-х годов исчезает фракция уголь, шлак, что связано с модернизацией системы отопления города [4].

Проблемой утилизации и захоронения мусора озаботились уже в начале 1950-х годов. В Москве в ноябре 1952 г. Моссовет своим решением №79/35 учредил при Московском жилом управлении контору по вывозу бытовых отходов. Предлагалось ввести отдельный сбор мусора для пищевых

Таблица 1. Количество отходов различных видов, образующихся на территории Московской обл.*

№ п/п	Наименование вида отхода	Количество, тыс. т/год
1	Твердые коммунальные отходы	3 835
2	Другие отходы производства и потребления всего	5 424
2.1	Отходы сельского, лесного хозяйства, рыбоводства и рыболовства	877
2.2	Отходы от добычи полезных ископаемых	34
2.3	Отходы обрабатывающих производств	1 528
2.4	Отходы потребления, производственные и непроизводственные	1 006
2.5	Отходы обеспечения электроэнергией, газом и паром	414
2.6	Отходы при водоснабжении, водоотведении	1 019
2.7	Отходы строительства и ремонта	527
2.8	Отходы при выполнении прочих видов деятельности	19

*Источник: Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами Московской области. <https://любберцы.рф/files/JKH/Regoper/Территориальная%20схема.pdf>

Таблица 2. Морфологический состав отходов ТКО г. Москва в период 1928–2016 гг. (%)

Компонент	1928	1952	1975	1986	1996	2002	2007	2016
Бумага, картон	18	16	28	39	41	31	28	19
Пищевые отходы	12	31	36	31	26	20	22	34
Дерево	4	1	3	2	1	3	3	6
Металл	2	2	2	3	2	2	2	4
Текстиль	3	1	2	3	4	4	5	3
Кости	3	1	5	1	1			
Стекло	4	1	4	5	5	5	5	12
Кожа, резина	—	1	1	2	2	5	5	
Камни	5	6	2	1	2	1	1	6
Полимеры	—	—		3	8	13	18	14
Уголь, шлак	4	—	—	—	1			
Отсев размера менее 16 мм	45	40	17	10	7	20	17	2

и твердых отходов (бумага, текстиль, металл, древесина, стекло и другие подобные материалы). Пищевые отходы планировали вывозить в подмосковные свиноводческие хозяйства для откорма животных. Твердые отходы должны были отправлять на фабрики по производству вторсырья. Однако не все граждане Советского Союза ответственно относились к раздельному сбору вторсырья. Поэтому иногда в мусорное ведро, вместе с непригодными для переработки отходами, попадали макулатура, стеклянная тара и т.д., и это вторсырье быстро становилось непригодным.

Первые крупные мусорные полигоны стали появляться в 1960-х годах, как правило, в отработанных карьерах по добыче песка. Основу также составляли пищевые отходы (~40%), более 70 % вторичных материалов уходило в переработку [15].

Стоит отметить, что именно в 1960-х гг. появляются изделия из полимерных материалов.

Начиная с 1990-х гг. повсеместное использование упаковочных материалов, потребление полуфабрикатов в повседневной жизни большинством населения привели к значительному росту доли макулатуры и полимеров в общем объеме отходов и практически полному исчезновению некоторых традиционных категорий, например, “кости”. По данным исследования, проведенного Ассоциацией рециклинга отходов в 2011 г. [9], доля пищевых отходов снизилась с 40 до 31–34% (рис. 2).

При изучении современных бытовых отходов создается впечатление, что они состоят в основном из полимерной упаковки, бумаги и картона. Такой эффект связан с относительно большими объемами и малой плотностью (20–70 кг/м³) отходов

- Пищевые отходы
- Бумага и картон
- Пластик
- Стекло
- Прочее

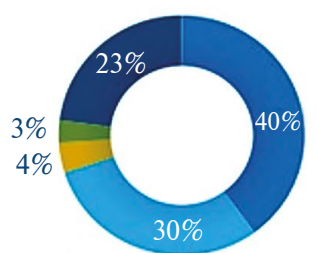
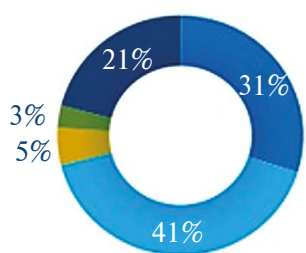
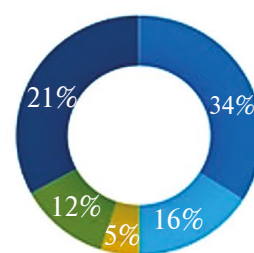
Россия
МДС 13-8.2000, 1999Данные ассоциации
рециклинга, 2011Экосистема,
2011

Рис. 2. Экспертная оценка структуры ТКО в России [9].

XXI в. по сравнению с отходами века предыдущего. Полиэтиленовая пленка, бумага и картон, повсеместно используемые как упаковочные материалы, составляют от 25 до 40% от массы ТБО. Значительную часть современных бытовых отходов (25–35%) составляют пищевые отходы. Они имеют высокую плотность (около 500 кг/м³) и характеризуются значительной влажностью (70–92%).

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИГОНОВ ТКО, РАСПОЛОЖЕННЫХ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ, И АНАЛИЗ ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА

При разработке проектов рекультивации свалок Московской обл. на этапе инженерных изысканий в ряде случаев проводился поинтервальный отбор проб мусора для определения их морфологического состава. Для исследования было выбрано 8 полигонов ТБО (до 2019 г. общепринятым был термин твердые бытовые отходы).

Полигон №1 на севере Московской области, вблизи промышленной зоны, представленной предприятиями и организациями машиностроительного, оборонного, химического, перерабатывающего направления, производства строительных материалов. Также вблизи полигона расположен крупный научно-образовательный комплекс. Высота складирования достигает 30 м, крутизна склонов равна 40°–60°. Полигон эксплуатировался с 1981 по 2014 г. Основная геометрия полигона была сформирована к 2003 г., далее отсыпка новым мусором велась частично. Пробы мусора отбирались в 2015 г. На момент проведения изысканий поверхность свалочного тела была задернована.

Полигон №2 расположен на севере Московской обл., недалеко от Дмитровского шоссе, имеет небольшую высоту, активно отсыпался с 2004 по 2018 г. Полигон был открыт в 1975 г. и выведен из эксплуатации в 2019 г. Свалочное тело представляет собой насыпь, частично заросшую сорной растительностью и кустарниками. Наиболее развитые отрасли района: легкая и текстильная промышленность, машиностроение и строительная индустрия, сельское хозяйство. Отходы на полигон поступали из Москвы и с близлежащих территорий. Отбор проб мусора проводился в 2021 г.

Полигон №3 расположен на северо-востоке Московской обл., недалеко от Ярославского шоссе. Полигон открылся в 1979 г. и был рассчитан на прием отходов с близлежащих территорий. Основные предприятия района: лакокрасочный завод, завод пластмасс, фабрика игрушек, текстильные предприятия, Институт птицеводства, птицефабрика, сельское хозяйство. В 2005 г. полигон уже имел свою основную геометрию. Полигон

закрыт в 2015 г. На момент проведения работ (2019–2021 гг.) полигон более 4 лет не функционировал.

Полигон №4 расположен на востоке Московской обл., недалеко от ЦКАД. Полигон был введен в эксплуатацию в 1964 г., закрыт для приема отходов в 2020 г. Свалочное тело представляет собой хаотичную насыпь высотой 1.0–20.0 м на участке площадью 9.22 га. Мусор на полигон поступал как из Москвы, так и с прилегающих территорий. Основные предприятия: ГРЭС, мебельная фабрика, лазерный центр, текстильные фабрики, сельское хозяйство. Отбор проб на морфологию мусора проводился непосредственно после закрытия полигона в 2020 г.

Полигон №5 расположен на востоке Московской обл., недалеко от ЦКАД. Полигон захоронения ТБО существует с 1964 г., закрыт в 2019 г. Мощность толщи отходов достигает 14.5 м. Мусор на полигон поступал как из Москвы, так и с прилегающих территорий. В советское время ведущей отраслью района была легкая (главным образом текстильная) промышленность. С начала 2000-х годов основные отрасли: производство строительных материалов, гигиенических средств, лекарственных препаратов, пищевая промышленность, сельское хозяйство. Отбор проб проводился в 2020 г.

Полигон №6 расположен на юго-востоке Московской обл., недалеко от Новорязанского шоссе. Основные направления промышленности в районе: металлургия, пищевая, химическая, и сельское хозяйство. Полигон существует с 1990 г. и состоит из двух карт — старой и новой площадью 9.5 и 8.4 га соответственно. Свалочные тела представляют собой насыпной холм изометрической формы с плоской вершиной. Старая карта полигона на момент работ полностью перекрыта грунтом и задернована, по данным ретроспективного анализа, она не эксплуатируется с 2014 г. Высота террикона достигает 15–20 м. Отбор проб проводился в 2020 г. Значительная часть площади второй (новой) карты полигона ТКО перекрыта грунтом. Отходы до 2017 г. в основном поступали из близлежащих поселков и населенных пунктов, потом начался активный прием из Москвы и Московской области.

Полигон №7 расположен на юге Московской обл., недалеко от ЦКАД. Складирование отходов осуществляется с 1982 г. Основными отраслями промышленности района являются машиностроение и металлообработка, развита пищевая и химическая отрасль. Поступление отходов на полигон производилось с прилегающих населенных пунктов, других районов Московской области и г. Москва. До 2010 г. отсыпка велась в западной части полигона, в восточной части наблюдалось

скопление сточных вод и фильтрата, затем отсыпка продолжалась в восточной части полигона. Прием отходов на полигоне ТКО прекращен с 2016 г. Пробы отбирались в 2019 г.

Полигон №8 расположен на западе Московской обл., недалеко от ЦКАД. Исследуемая территория до появления на ней полигона ТКО не использовалась, она представляла собой заболоченный участок с редколесьем. Эксплуатация полигона началась в 1973 г. С 2004 г. площадь полигона не изменялась, до 2018 г. он непрерывно “рос” в высоту, после чего полигон был закрыт и частично засыпан грунтом. В районе преобладает сельско- и лесохозяйственная деятельность, в меньшей степени развита промышленность. Отбор проб проводился в 2019 г.

Таким образом, можно выделить следующие группы.

1. Географическое положение полигонов в Московской обл.: север — 3 полигона, восток — 3 полигона, юг — 1 полигон, запад — 1 полигон.

2. По десятилетию открытия (в прошлом столетии): 1960-е — 2 полигона, 1970-е — 1 полигон, 1980-е — 4 полигона, 1990-е и 2000-е — 1 полигон.

3. По году закрытия: 2014 — 2 полигона, 2015 — 1 полигон, 2016 — 1 полигон, 2018 — 1 полигон, 2019 — 3 полигона, 2020 — 1 полигон.

4. По дате отбора проб: в 1-й год после закрытия — 2 полигона, через 1 год — 3 полигона, через 2 года — 2 полигона, через 3 года — 1 полигон, через 6 лет — 1 полигон.

Наиболее схожи между собой: полигоны №4 и №5; полигоны №1, №2, №3.

Полигон №1 в ходе первичного анализа был исключен из выборки, поскольку изучаемые фракции не совпадают с остальными объектами и сравнивать их между собой некорректно. Его детальное исследование будет приведено отдельно.

Для оценки изменения морфологического состава отходов в зависимости от времени начала эксплуатации полигона был выполнен расчет средних значений по пробам, отобраным из основания свалочного тела, в процентах по каждой фракции, без учета грунта отсыпки и щебня (рис. 3). На полигонах 1980–2000-х годов и старше отмечается более высокое содержание (практически в 2 раза) “быстроразлагающихся” фракций: пищевые отходы, бумага и картон, древесина и текстиль. Это, вероятно, связано с двумя факторами. Первый и основной из них заключается в разложении таких отходов во времени с переходом в твердые органические частицы. Второй — связан с изменением образа жизни населения Москвы и Московской обл.: появляется большее разнообразие в одежде,

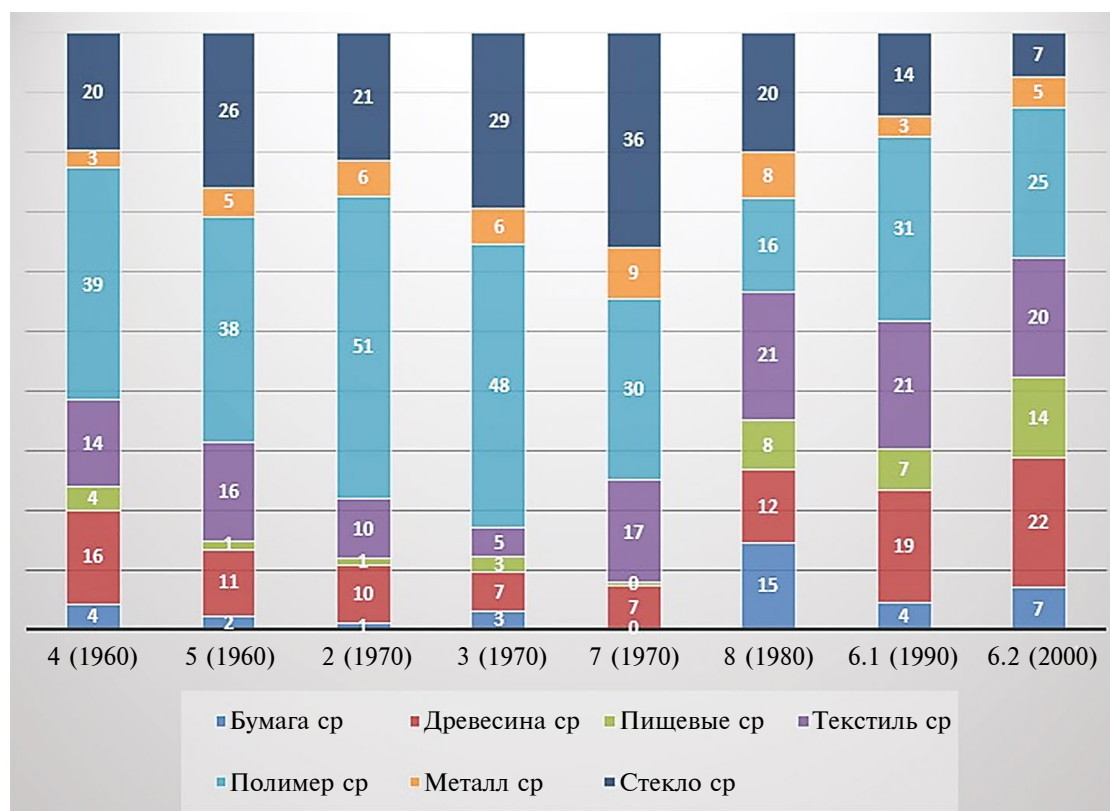


Рис. 3. Усредненный морфологический состав отходов в основании свалочного тела на полигонах (1960–2000 гг.) Московской обл. (цифра в скобках — десятилетие ввода в эксплуатацию полигона).

развивается строительство многоквартирных и частных домов, увеличивается плотность и численность населения в регионе.

Для анализа морфологического состава отходов 2010-х годов был выполнен расчет усредненных значений всех фракций свалочного грунта, отобранного из верхних слоев свалочной массы. На рис. 4 представлена диаграмма по каждому полигону. Полигоны расположены как по году закрытия, так и по дате отбора проб и убыванию разницы между датой закрытия и датой отбора проб (на полигоне №6.1 отбор был произведен только через 6 лет, а на полигоне №4 — сразу после закрытия). В целом наблюдается примерно равное содержание металла, пластика и стекла, они составляют в среднем половину от общего объема отходов. Текстиля также примерно одинаково — от 10 до 20%. Отмечается более высокое содержание бумаги на полигонах, где пробы были отобраны не позднее, чем через два года после закрытия, а древесины — через три. Пищевые отходы распределены хаотично. Отличаются от общей тенденции полигоны №6.1 и 7 (по высокому содержанию металла), №2 (по повышенному содержанию металла). Такие значения могут быть связаны со спецификой отходов, поступающих на полигон, например, рядом с полигоном №7 расположен керамический завод.

Для определения влияния географического фактора для каждого полигона был выполнен

расчет усредненного морфологического состава (рис. 5). Полигоны, расположенные на севере и востоке области, характеризуются повышенным содержанием полимеров (34–46%), что, вероятно, связано с преобладанием легкой промышленности в этих районах. Также можно отметить, что полигоны, расположенные на юге области, содержат больше текстиля (16–20%), древесины (до 20%) и бумаги (до 15%), возможно, из-за большого объема отходов, поступающих из Москвы и крупных городов Подмосковья.

Таким образом, морфологический состав отходов на полигонах Московской обл. достаточно однороден, так как на них поступали отходы из Москвы и различных районов области, и лишь в отдельных случаях специфика промышленности района и логистическая схема поступления отходов на полигоны влияет на процентное распределение по их составу. Содержание “быстроразлагающихся” фракций (бумага, картон, пищевые отходы, древесина, текстиль) закономерно выше на полигонах моложе 50 лет, а также в верхних слоях свалочных тел. Более высокое содержание текстиля также может свидетельствовать о смене образа жизни жителей региона и об увеличении количества и плотности населения. Повышенное содержание древесины может быть связано с развитием строительства многоквартирных и частных жилых домов и постепенным сносом старых деревянных строений.

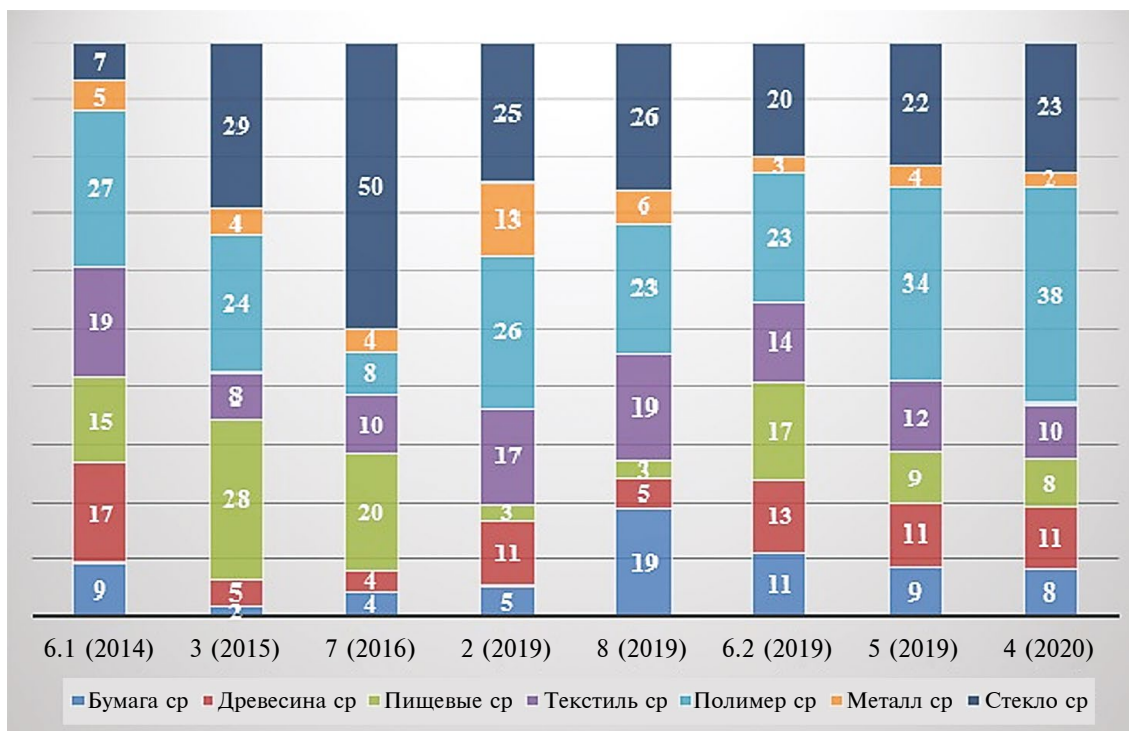


Рис. 4. Усредненный морфологический состав отходов (после 2010-х годов) в верхних частях свалочного тела полигонов Московской обл. (цифра в скобках — год завершения эксплуатации полигона).

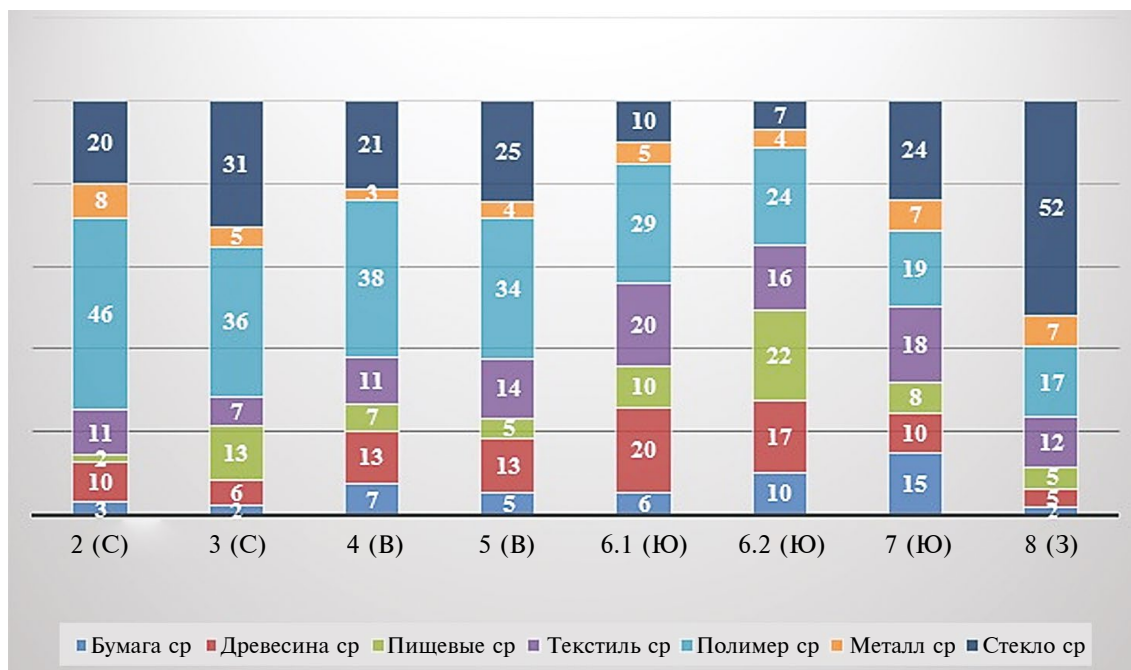


Рис. 5. Усредненный морфологический состав отходов на полигонах Московской обл. (буква в скобках — местоположение полигона по сторонам света).

Усредненный морфологический состав полигонов Московской обл. представлен на рис. 6. Если сравнить его с данными анализа отходов, выполненного в рамках программы “Чистая страна” (см. рис. 1), то видно, что от момента поступления отходов в мусорные баки и до складирования и постепенного разложения на полигоне их морфология значительно меняется: в 3 раза сокращается содержание бумаги за счет частичного размокания и разложения, в 2 раза — пищевых отходов за счет разложения; закономерно выше доля текстиля, древесины, полимеров и стекла (практически в 2 раза), содержание металла остается неизменным.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТХОДОВ НА ПОЛИГАНАХ ПО ГЛУБИНЕ

На всех изучаемых полигонах производился поинтервальный отбор проб, однако наиболее информативными сведениями стали результаты инженерно-экологических изысканий для полигона № 1. В рамках работ, через год после вывода его из эксплуатации, был проведен поинтервальный отбор проб (с каждого метра) из пяти скважин; всего было отобрано 211 проб. Кроме того, по результатам лабораторных исследований были дополнительно выделены следующие фракции: черный металл, цветной металл, кости, кожа и резина, камни, штукатурка, пластмасса, целлофан, отсев, твердые органические частицы. Наличие

пищевых отходов фиксируется до глубины максимум 12 м, бумага и картон — до 19 м, древесина — до 41 м, текстиль — до 16 м. С уменьшением этих фракций закономерно растет доля твердых органических частиц от 11 до 55%. Среди отно-

■ Бумага ср ■ Древесина ср ■ Пищевые ср ■ Текстиль ср
■ Полимер ср ■ Металл ср ■ Стекло ср

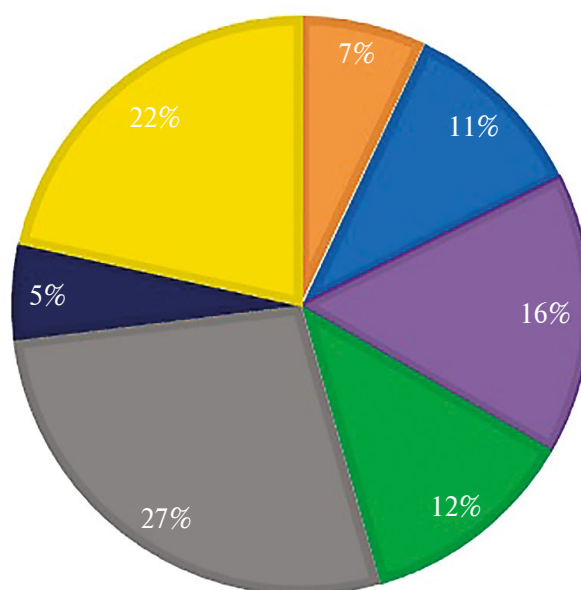


Рис. 6. Усредненный морфологический состав отходов, размещенных на полигонах Московской обл.

сительно инертных фракций цветной и черной металл зафиксирован на максимальных глубинах 38 и 39 м соответственно, кости — до 16 м, стекло — до 47 м, кожа и резина — до 18 м, пластмасса — до 45 м, целлофан — до 47 м. С уменьшением данных компонентов закономерно растет фракция отсева с 18 до 45%. Поинтервально (через каждые 5 м) были посчитаны значения по всем компонентам (табл. 3). Из полученных результатов видно, что “быстроразлагающиеся” фракции переходят в твердые органические частицы до 15 м, и в более нижних слоях свалочного тела сохраняются в пределах 50–55%. При этом на глубине около 5 м происходит наибольшая переработка пищевых отходов, что фиксируется через резкое снижение содержания самой фракции на 12% и увеличение органических частиц только на 5%. Остальные, относительно инертные фракции проходят стадию дробления и постепенно переходят в отсев, составляя в среднем 40–45%.

Рассмотрим отдельно компоненты отходов и проанализируем их изменение с глубиной на всех изучаемых полигонах. Основные фракции, претерпевающие изменения во времени, — это пищевые отходы, бумага, картон, текстиль и древесина. Отмечается их закономерное снижение с глубиной.

Наибольшее количество пищевых отходов наблюдается в интервале глубин 0.0–5.0 м, далее отмечается резкий спад (более чем в 1.5–2 раза), и ниже 20 м пищевые отходы практически отсутствуют (рис. 7). Общий тренд на снижение содержания пищевых отходов прослеживается во всех полигонах до глубины 10–15 м (кроме полигона № 6.1 из-за его молодого возраста)

Снижение содержания бумаги и картона более плавное до интервала глубин 10–15 м, далее резкое снижение, и ниже 20 м этот вид отходов практически отсутствует (рис. 8).

Наличие текстиля и древесины фиксируется даже на больших глубинах — 30 и 40 м соответственно. Явной тенденции к их снижению не прослеживается, так как текстиль и древесина более инертны, для их разложения необходимы гораздо большие сроки.

Слабо изменяемые фракции полигона — металл, стекло, полимеры. В среднем содержание металла на всех изучаемых полигонах ~4%. Отмечается более высокое содержание металлов на глубине 10–30 м, но не превышающее 10%. Количество стекла меняется хаотично по глубине и фиксируется даже на глубинах 45 м. Содержание полимеров в среднем составляет 20–30%, редко меньше.

Таблица 3. Усредненный морфологический состав отходов по глубине на полигоне №1

Интервалы глубин, м	Пищевые	Бумага, картон	Древесина	Черный металл	Цветной металл	Текстиль	Кости	Стекло, керамика	Кожа, резина	Камни, шугатурка	Пластмасса	Целлофан	Отсев	Твердые органические частицы
0.0–5.0	21	28	3	2	1	2	1	3	2	5	3	2	18	11
5.0–10.0	9	26	2	3	1	3	1	3	1	3	3	2	26	18
10.0–15.0	0	14	3	3	2	1	1	3	1	4	3	1	24	38
15.0–20.0	0	0	2	2	2	0	1	3	0	4	3	1	34	49
20.0–25.0	0	0	2	2	2	0	0	2	0	6	2	1	35	49
25.0–30.0	0	0	1	2	1	0	1	2	0	7	1	0	35	50
30.0–35.0	0	0	2	2	1	0	0	2	0	3	1	1	31	38
35.0–40.0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3	1	1	30	42
40.0–45.0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	42	54
45.0–50.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	55

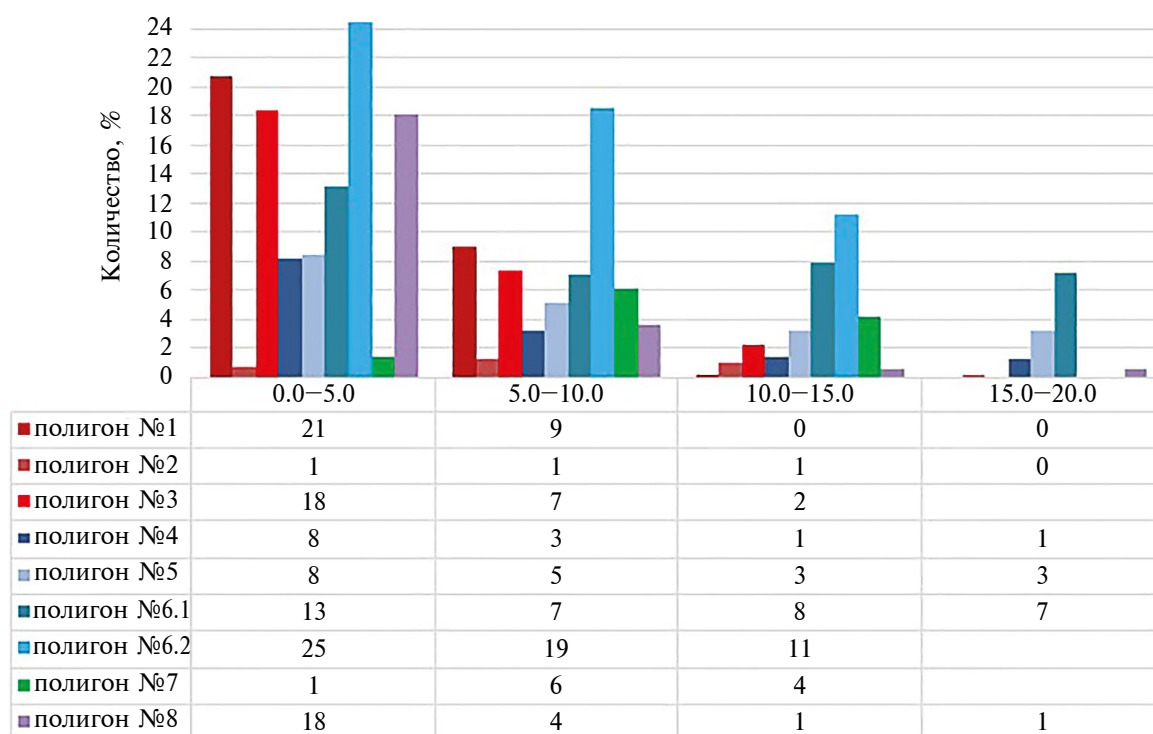


Рис. 7. Диаграмма содержания пищевых отходов на разных глубинах полигонов Московской обл.

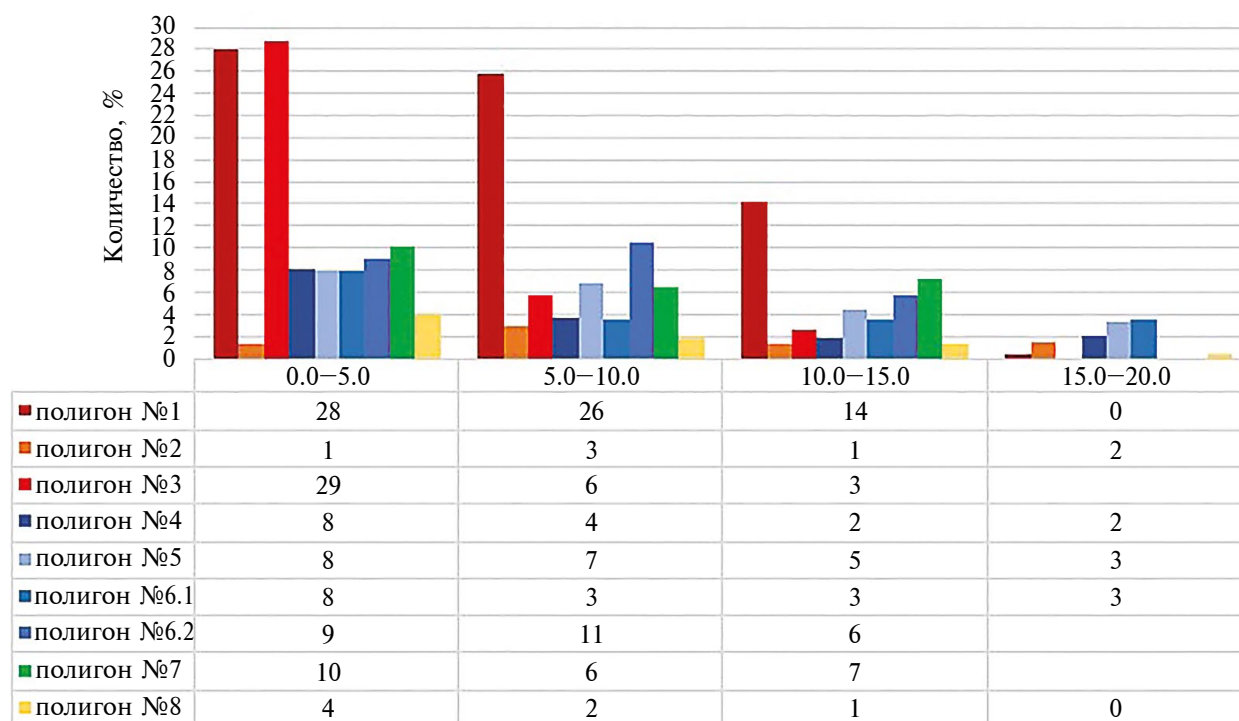


Рис. 8. Содержание бумаги и картона на разных глубинах полигонов Московской обл.

Таким образом, в верхней части свалочного тела до 5 м отмечается значительное количество слабо-разложившихся пищевых отходов; бумага и картон сохраняются до 10–15 м, текстиль присутствует на глубинах до 30 м, древесина — до 40 м, инертные фракции — практически на всех интервалах глубин свалки до 30 м, а стекло — до 40 м.

ВЫВОДЫ

Морфологический состав твердых коммунальных отходов на полигонах Московской обл. достаточно однороден: половину, а местами и до 60%, от него составляют компоненты “быстроразлагающихся” органических фракций, таких как бумага, пищевые отходы, древесина и текстиль, что в целом совпадает с исходным составом отходов, поступающих на полигоны. Однако при анализе содержания отдельных компонентов значения отличаются. Соотношение “инертных” фракций (полимеры, стекло и металл) зависят от структуры промышленности конкретного района и логистической схемы поступления отходов на полигон. Стоит отметить, что содержание металла на всех полигонах 4–7% из-за достаточно развитой системы переработки металлов как вторсырья.

Важным фактором, влияющим на морфологический состав отходов, является возраст свалочного тела. Так, содержание “быстроразлагающихся” фракций (бумага, картон, пищевые отходы, древесина, текстиль) закономерно выше на полигонах моложе 50 лет, а также в верхних слоях свалочного тела.

Кроме того, характерной особенностью полигонов Московской обл. является более высокое содержание текстиля и древесины на “молодых” полигонах и в верхних слоях, которое может свидетельствовать о смене образа жизни жителей региона, увеличении количества и плотности населения, строительстве многоквартирных и частных жилых домов, постепенном сносе старых деревянных строений.

Если оценивать свалочное тело, как геологическое тело, то можно выделить следующие характерные особенности:

- высокое содержание пищевых отходов низкой степени разложения фиксируется на глубинах до 5 м, ниже происходит резкое уменьшение их массы (практически в 2 раза) до глубины 10 м и закономерный переход их в твердые органические частицы;

- бумага и картон присутствуют до 15 м, и резкое снижение происходит в интервалах глубин 15–20 м;

- наличие текстиля и древесины отмечается на больших глубинах — 30 и 40 м соответственно,

при этом явной тенденции к снижению не прослеживается.

Таким образом, свалочные тела Московской обл. представляют собой сложные геологические тела с выраженным внутренним строением, взаимосвязанным со скоростью перехода “быстроразлагающихся” отходов в твердые органические частицы. Морфологический состав отходов и его изменение по глубине зависят от ряда экономических и социальных показателей региона, от сроков ввода и времени эксплуатации полигонов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ №22-17-00045.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галицкая И.В., Костикова И.А., Позднякова И.А., Путилина В.С., Юганова Т.И. Долгосрочное влияние полигонов твердых коммунальных отходов на трансформацию химического состава подземных вод // Вестник РФФИ. 2023. №3–4 (119–120). С. 11–31.
2. Галицкая И.В., Путилина В.С., Костикова И.А. Оценка состояния полигона ТКО для обоснования мониторинговых исследований в пострекультивационный период // Геоэкология. 2022. №5. С. 1–12. <https://doi.org/10.31857/S0869780922050034>.
3. Жилинская Я.А. Рекультивация полигонов захоронения твердых бытовых отходов продуктами механобиологической переработки отходов: дис. ... канд. тех. наук 03.00.16. Пермь, 2010. 220 с.
4. Козлов Г.В., Ивахнюк Г.К. Морфологический состав твердых коммунальных отходов по регионам мира в XX и начале XXI века (обзор) // Известия СПбГТИ(ТУ). 2014. №24 (50). С. 58–66.
5. Мень М. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия “Анализ выполнения мероприятий, обеспечивающих экологическую безопасность Российской Федерации, в части ликвидации объектов накопленного вреда и формирования комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами” // Бюллетень Счетной палаты Российской Федерации. 2020. №9 (274). С. 2–43. URL: <https://img-cdn.tinkoffjournal.ru/-/analiz-schetnoy-palati-sist-obr-tko.tvy77e.pdf>
6. Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. Микробиология: учеб. для вузов. 3-е изд. М.: Агропромиздат, 1987. 368 с.
7. Негуляева Е.Ю. Оптимизация системы обращения с твердыми коммунальными отходами как фактор безопасности геологической среды: дис. ... канд. тех. наук 25.00.36. СПб., 2005. 151 с.
8. Осипов В.И., Галицкая И.В., Заиканов В.Г. Полигонная технология обращения с отходами // Геоэкология. 2022. №3. С. 3–15. <https://doi.org/10.31857/S0869780922030079>.
9. Отходы в России: мусор или ценный ресурс. Сценарии развития сектора обращения с твердыми коммунальными отходами. М.: Международная финансовая корпорация, группа Всемирного банка, 2014. 92 с. URL: https://www.waste.ru/uploads/library/ifc_waste_in_russia_report.pdf.

10. ПНД Ф 16.3.55-08 ФР 1.28.2015.19223 Количественный химический анализ почв и отходов. Методика определения морфологического состава твердых отходов производства и потребления гравиметрическим методом. М.: ФБУ “ФЦАО”. 2014. 10 с. URL: https://fcao.ru/sites/all/themes/fcao/docs/metodiki/Soils_jan_2020.pdf?ysclid=m2gc2ojhuh912671212.
11. Подлипский И.И. Характеристика полигонов бытовых отходов как объектов геологического исследования // Вестник СПбГТИ (ТУ). 2010. Сер. 7. №1. С. 15–31.
12. Постановление Правительства Московской области от 22.12.2016 №984/47 “Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, Московской области”. URL: <https://mosreg.ru/dokumenty/normotvorchestvo/prinyato-pravitelstvom/29-12-2016-10-45-57-postanovlenie-pravitelstva-moskovskoy-oblasti-ot-2?ysclid=m2gc72zxm645881341> (дата обращения 14.01.2024).
13. Пресс-служба Минприроды России. Правительство России выделило финансирование на ликвидацию стихийных свалок в 24 регионах [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/press/news/pravitelstvo_rossii_vydilo_finansirovanie_na_likvidatsiyu_stikhiynykh_svalok_v_24_regionakh/index.php?ysclid=lrdustr0v9862482721 (дата обращения: 14.01.2024).
14. Романов В.И. Отходы России в начале XXI века. Обзор, анализ, прогнозы. М.: ЭРА, 2016. 229 с.
15. Сираждинов Р.Ж. Исследование опыта Советского Союза в управлении отходами производства и потребления // Вестник университета. 2021. №3. С. 5–13. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2021-3-5-13>.
16. Якишилов Д.С., Ищенко О.В., Мартынов Н.В. и др. Методика прогнозирования морфологического состава твердых бытовых отходов Москвы // Известия СПбГТИ (ТУ). 2010. №7 (35). С. 77–79.
17. Material use in the European Union 1980–2000: indicators and analysis. Statistical Office of the European Union, Luxembourg. 2002. 241 p. URL: <https://archive.metabolismofcities.org/publication/146>

FEATURES OF THE MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS IN THE MOSCOW REGION

E. S. Solomatina^{a, #}, G. A. Zarnitsyn^a

^a*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,
Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*
[#]*E-mail: baira-lala@mail.ru*

Based on the analysis of literature sources, as well as official government Internet resources, the data were obtained about the volume of waste arriving at landfills in the Moscow region. In addition, the information presented in the studied sources reveals the average morphological composition, factors influencing its individual components, mechanisms of decomposition of organic matter and its impact on the environment. Using the data obtained during engineering surveys for the remediation of several landfills in the Moscow region, this article investigates the morphological composition of waste based on geographic location, age, closure date of landfills, and changes in component ratios with depth. The study reveals that up to 60% of landfill consists of organic fractions, their content being higher in landfills younger than 50 years and in the upper layers. Organic matter is replaced by solid particles within a 15-meter interval, with the highest processing of food waste having been noted at a depth of about 5 meters. Other relatively inert fractions undergo crushing and gradually transform into screenings, constituting an average of 40–45%.

Keywords: *MSW landfill, morphological composition, MSW components, organic component of landfills*

REFERENCES

1. Galitskaya, I.V., Kostikova, I.A., Pozdnyakova, I.A. et al. [Long-term impact of solid municipal waste landfills on groundwater chemistry transformation]. *Vestnik RFFI*, 2023, no. 3–4 (119–120), pp. 11–31. (in Russian)
2. Galitskaya, I.V., Putilina, V.S., Kostikova, I.A. [Assessment of landfill condition for justifying monitoring studies in the post-reclamation period]. *Geoekologiya*, 2022, no. 5, pp. 1–12. (in Russian)
3. Zhilinskaya, Ya.A. [Reclamation of solid domestic waste landfills with products of mechanical and biological waste processing]. Cand. Sci (Techn.) Dissertation, Perm, 2010, 220 p. (in Russian)
4. Kozlov, G.V., Ivahnyuk, G.K. [Morphological composition of municipal solid waste by world region in the twentieth and early twenty-first centuries (review)]. *Izvestiya SPbGTI (TU)*, 2014, no. 24 (50), pp. 58–66. (in Russian)
5. Men', M. [Report on the results of the expert analytical activity “Analysis of the implementation of measures ensuring environmental safety of the Russian Federation in terms of liquidation of objects of accumulated damage and formation of an integrated system of solid municipal waste management”]. *Byulleten' Schetnoi palaty Rossiiskoi Federatsii*, 2020, no. 9 (274), pp. 2–43. URL: <https://img-cdn.tinkoffjournal.ru/-/analiz-schetnoy-palati-sist-obr-tko.tvy77e.pdf> (in Russian)
6. Mishustin, E.N., Emtsev, V.T. [Microbiology]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987, 368 p. (in Russian)

7. Negulyaeva, E.Yu. [Optimization of solid municipal waste management system as a factor of geoeological environment safety]. Cand.Sci (Techn.) Dissertation, St. Petersburg, 2005, 151 p. (in Russian)
8. Osipov, V.I., Galitskaya, I.V., Zaikanov, V.G. [Landfill technology for waste management]. *Geoekologiya*, 2022, no. 3, pp. 3–15. (in Russian)
9. [Waste in Russia: garbage or valuable resource. Scenarios of development of the solid municipal waste management sector]. Moscow, International financial corporation, World bank group, 2014, 92 p. URL: https://www.waste.ru/uploads/library/ifc_waste_in_russia_report.pdf. (in Russian)
10. [PND F 16.3.55-08 FR 1.28.2015.19223. Quantitative chemical analysis of soils and wastes. Methodology for determination of morphological composition of solid wastes of production and consumption by gravimetric method]. Moscow, FBU FTsAO, 2014, 10 p. (in Russian)
11. Podlipskii, I.I. [Characterization of domestic waste landfills as objects of geological study]. *Vestnik SPbGU*, 2010, vol.7, no. 1, pp. 15–31. (in Russian)
12. [Resolution of the Moscow region government dated 22.12.2016 No. 984/47 “On approval of the territorial scheme for waste management, including municipal solid waste, in the Moscow Region”]. URL: <https://mosreg.ru/dokumenty/normotvorchestvo/prinyato-pravitelstvom/29-12-2016-10-45-57-postanovlenie-pravitelstva-moskovskoy-oblasti-ot-2?ysclid=m2gc72zxm645881341> (accessed January 14, 2024) (in Russian)
13. [Press office of Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. The Russian government has allocated funding for elimination of illegal dumps in 24 regions]. URL: https://www.mnr.gov.ru/press/news/pravительство_rossii_vydeleno_finansirovanie_na_likvidatsiyu_stikhiynykh_svalok_v_24_regionakh/index.php?ysclid=Irdustr0v9862482721. (accessed January 14, 2024) (in Russian)
14. Romanov, V.I. [Waste in Russia at the beginning of the XXI century. Review, analysis, forecasts]. Moscow, ERA Publ., 2016, 229 p. (in Russian)
15. Sirazhdinov, R.Zh. [Study of the experience of the Soviet Union in production and consumption waste management]. *Vestnik universiteta*, 2021, no. 3, pp. 5–13. (in Russian)
16. Yakshilov, D.S., Ishchenko, O.V., Martynov, N.V. et al. [Methodology for predicting the morphological composition of municipal solid waste in Moscow]. *Izvestiya SPbGTI (TU)*, 2010, no. 7 (35), pp. 77–79. (in Russian)
17. Material use in the European Union 1980–2000: indicators and analysis. Statistical Office of the European Union, Luxembourg. 2002. 241 p. URL: <https://archive.metabolismofcities.org/publication/146>