

Титова Анастасия Германовна

**КОМПЛЕКСНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗОНИРОВАНИЯ
СВАЛОК НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА**

Специальность:
25.00.36 – геоэкология (науки о Земле)

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Работа выполнена в Отделе картографии и дистанционного зондирования Земли
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт
географии Российской академии наук (г. Москва)

Научный руководитель:

Медведев Андрей Александрович, кандидат географических наук, заведующий
Отделом картографии и дистанционного зондирования Земли Федерального
Института географии Российской академии наук

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится _____ 2025 года в __ часов __ минут на заседании
диссертационного совета _____ на базе ФГБУН «Институт географии Российской
академии наук» по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный переулок, д. 29, стр.
4. Факс: (495) 959-00-16, e-mail: _____@igras.ru С диссертацией можно
ознакомиться в библиотеке Института географии РАН и на интернет-сайте:
<http://igras.ru>

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумажном носителе в одном
экземпляре) просим направлять по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный
переулок, д. 29, стр. 4, Институт географии РАН, диссертационный совет _____, e-
mail: _____@igras.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2025 года

Учёный секретарь
диссертационного совета

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Обращение с твердыми коммунальными отходами (ТКО) остается одной из ключевых экологических и социально-экономических проблем современной России. Несмотря на законодательные изменения и попытки модернизации системы управления отходами, основной объем ТКО (до 90 %) по-прежнему направляется на захоронение, что приводит к переполнению полигонов, росту числа стихийных свалок и усилению негативного воздействия на окружающую среду.

В практике обращения с отходами выделяются два основных типа объектов их захоронения (размещения):

свалки – необорудованные участки, используемые для незаконного захоронения отходов без инженерной подготовки и природоохранных систем;

полигоны – специально спроектированные объекты, оснащенные водонепроницаемым основанием, системой сбора и очистки фильтрата и другими инженерными решениями для минимизации экологического ущерба.

В рамках данного исследования применяется классификация этих мест захоронения отходов, учитывающая три ключевых аспекта:

1. Режим функционирования:

управляемые – объекты с элементами контроля, частичным или полным соблюдением экологических норм;

неуправляемые – бесконтрольные места складирования без явных природоохранных мер.

2. Юридический статус:

официальные – включены в Государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО), подлежат регулярному контролю и мониторингу;

неофициальные – несанкционированные свалки, созданные с нарушением законодательства.

3. Географические особенности и условия окружающей среды, включая типы почв, близость к водным ресурсам, наличие инфраструктуры и прочее.

Свалка (полигон) состоит из двух основных территориальных частей: свалочного тела и прилегающей территории. Свалочное тело представляет собой массу накопленных отходов, сформированную в процессе эксплуатации полигона. Прилегающая территория – это зона, подверженная воздействию полигона, где наблюдаются разного рода поллютанты. Границы прилегающей территории динамичны и зависят от множества факторов: гидрогеологических условий, климатических особенностей, морфологии свалочного тела и других параметров.

Неэффективность сферы захоронения отходов подтверждается преобладанием неуправляемых и неофициальных свалок, которых в 2019 г. насчитывалось более 25 тыс., против официальных полигонов – 3 тыс. Анализ землепользования выявляет устойчивую тенденцию к увеличению площадей, отводимых под объекты размещения отходов. На 2020 г. общая площадь свалок и полигонов, включая законсервированные, достигла 131,9 тыс. га – величины, сопоставимой с территорией Санкт-Петербурга (143,9 тыс. га)¹. Такие масштабы изъятия земель вызывают серьезную озабоченность с точки зрения экологической безопасности и рационального природопользования.

Ключевой характеристикой свалок (полигонов) является их функционирование как открытых динамических геосистем, находящихся в постоянном взаимодействии с окружающей природной средой. Результатом этого взаимодействия является привнесение новых нехарактерных для окружающей среды физических, химических и биологических агентов, которые могут быть губительны для компонентов природной среды при развитии негативных процессов (деградация почвенного и растительного покрова, отравление поверхностных и подземных вод, изменение их гидрохимических и биологических показателей, загрязнение приземного слоя атмосферы и пр.). Они также могут служить источником распространения

¹ Государственные доклады «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady (дата обращения: 12.05.2019)

заболеваний, переносимых грызунами, птицами и насекомыми. Свалки (полигоны) генерируют парниковые газы и создают угрозы для авиационной безопасности из-за привлечения огромного количества птиц. Основными источниками негативного воздействия выступают продукты их жизнедеятельности – высокотоксичный фильтрат и свалочный газ, состав которых варьирует в зависимости от морфологии отходов и стадии свалочного тела.

Свалки (полигоны) могут занимать обширные труднодоступные территории, где происходят пожары, оползни и провалы, затрудняющие изучение традиционными наземными методами и угрожающие безопасности исследователей.

Принятию эффективных превентивных управленческих решений, предотвращающих негативное влияние на окружающую среду, предшествует качественный оперативный мониторинг и контроль за такими объектами. Однако они сталкиваются с нехваткой методической базы, а также с трудностями в получении качественных пространственных данных.

Использование космических аппаратов (КА) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в настоящее время ограничивается получением снимков, которые применяются лишь для анализа общего состояния, без проведения качественного дешифрирования и использования различных геоинформационных и картографических методов.

Методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) демонстрируют значительный потенциал для мониторинга свалок (полигонов), хотя традиционные наземные и лабораторные исследования пока остаются основными. Преимущества ДЗЗ включают оперативность, масштабность и возможность получения комплексных данных о состоянии объектов.

В управлении и государственном контроле свалки (полигоны) рассматриваются с точки зрения функционального зонирования, которое разделяет их территории на производственную и административно-хозяйственные зоны с обозначением технических элементов². Такое зонирование происходит по данным проектной документации, без учета геоэкологических и географических условий, существующих технологических особенностей.

В научных исследованиях основное внимание уделяется территориям, подвергшимся негативному влиянию свалок, в то время как само свалочное тело остается малоизученным. Выделяются работы по применению авторского зонирования для анализа свалок через обозначение хронофункциональных зон на основе ландшафтной структуры и распределения тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове [Замотаев, 2019], но такие работы носят преимущественно фундаментальный, а не прикладной характер.

Метод зонирования, заключающийся в разделении территории на функциональные зоны с индивидуальными характеристиками и режимами использования, является универсальным инструментом пространственной организации. Он активно используется в городском планировании, промышленности и управленческой практике. В контексте экологического мониторинга именно зонирование демонстрирует наибольшую эффективность при контроле за состоянием свалочных территорий и их мониторинге.

Таким образом, данное исследование направлено на усовершенствование методики зонирования свалок и полигонов с целью развития методов оперативного мониторинга и контроля по данным дистанционного мониторинга, которая включает разработку унификации подходов к картографированию этих объектов и классификации их отдельных участков, посредством разработки Комплексной геоэкологической системы зонирования (КГСЗ).

Объект исследования. Объектом научного исследования являются геосистемы свалочных тел и прилегающих территорий разных типов свалок (полигонов) в разных географических условиях.

В исследовании выбрано 4 ключевых объекта на Европейской территории России (ЕТР), на которых применена КГСЗ. Выбор обусловлен географическим охватом выбранных объектов и сопоставлением их разных типов.

Ключевые объекты исследования:

² Свод правил СП 320.1325800.2017. Полигоны твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация // Минстрой России. – М., 2017. – 11 с.

- официальный управляемый городской полигон на примере Серпухова Московской области (в н.вр. закрыт);
- официальный управляемый городской полигон на примере Суворова Тульской области;
- неофициальная управляемая городская свалка на примере Белева Тульской области (в н.вр. рекультивирована);
- неофициальная неуправляемая поселковая свалка на примере Одоева Тульской области (в н.вр. рекультивирована).

Предмет исследования. Картографирование и зонирование свалочных тел и прилегающих территорий по данным дистанционного мониторинга.

Цель исследования. Целью научной работы является – совершенствование существующей методической базы зонирования различных геосистем свалок (полигонов) в разных географических условиях посредством разработки КГСЗ на основе дистанционного мониторинга. Разрабатываемая методика призвана решать задачи оперативного контроля состояния свалок, оценки их воздействия на окружающую среду, а также унификации подходов к картографированию этих объектов и классификации их отдельных участков.

Задачи исследования. Для достижения этой цели в научной работе поставлены следующие исследовательские задачи:

1. Изучить влияние свалок (полигонов) на компоненты природной среды. Дать характеристику отрасли по обращению с отходами в России. Определить географию мест захоронения отходов на примере ЕТР. Охарактеризовать ключевые свалки и полигоны.
2. Проанализировать отечественный и зарубежный опыт исследования свалок (полигонов) на основе данных дистанционного мониторинга. Определить методы и средства исследования ключевых мест захоронения отходов.
3. Разработать КГСЗ по данным дистанционного мониторинга различных геосистем свалок в разных географических условиях.
4. Провести картографирование и зонирование ключевых объектов исследования, используя разработанную методическую базу. На основе зонирования оценить состояние свалок (полигонов) и проанализировать их влияние на окружающую среду.
5. Подготовить рекомендации по применению КГСЗ для мест захоронения ТКО.

Теоретико-методологические основы и степень изученности темы. Методической основой научной работы служат принципы и методы, изложенные ведущими учеными в области ДЗЗ для целей геоэкологических исследований (Ю.Ф. Книжников, Б.А. Новаковский, В.И. Кравцова, И.А. Лабутина, И.В. Замотаев и др.), экологического картографирования (В.И. Стурман, Б.И. Кочуров и др.), геохимии ландшафтов и прикладной геохимии (А.И. Перельман, А.А. Белоус, М.А. Глазовская, В.А. Ковда, В.В. Добровольский, Ю.Е. Саг, Н.С. Касимов, В.В. Иванов и др.).

Значимость КА и БПЛА и получаемых с их помощью данных в геоэкологических исследованиях рассмотрена в ряде современных научных работ (М.А. Болсуновского, С.А. Втюрина, Ю.Ф. Книжникова, А.А. Медведев, Н.А. Алексеенко и др.).

В последние годы растет научный интерес к материалам ДЗЗ и географическим информационным системам (ГИС) при исследовании мест захоронения отходов (А.В. Абросимов, О.В. Бровкина, Д.А. Липилин, А.В. Погорелов, Ю.В. Рябов, С.С. Тимофеева, О.В. Майорова и др.). В основном эти исследования направлены на разработку методик по выявлению стихийных свалок и поиску наиболее благоприятных мест для строительства новых объектов, а также на вычисления геометрических, морфометрических и тепловых параметров объектов, ситуационное и прогнозное моделирование экологического состояния прилегающих территорий.

Материалы и методы. Основу данных ДЗЗ составили авторские крупномасштабные пространственно-временные данные, полученные в ходе проведения шести облетов БПЛА DJI Inspire 1 PRO ключевых объектов исследования в Московской и Тульской областях в разновременной период. Получено 1506 аэрофотоснимков (АФС).

Дополнительными данными ДЗЗ послужили:

- архивные АФС (1979, 1982 гг.) спутника Keyhole KH-9 (серия спутников американского проекта Hexagon 1971-1984 гг.) и информационная база оптических снимков с тепловыми каналами инфракрасного радиометра (Thermal Infrared Sensor, TIRS) продуктов Landsat с КА Landsat-8 (открытый доступ на официальном сайте архива Геологической службы США (USGS));
- информационная база архивных оптических космических снимков (КС), мозаики снимков различного разрешения и обширного временного ряда (1988-2021 гг.) КА WorldView-4, Landsat-4, IKONOS, QuickBird, GeoEye-1 и др. (открытый доступ в геоинформационном веб-сервисе «Космоснимки» и каталоге программы «Google Планета Земля»);
- глобальные цифровые модели рельефа (ЦМР): Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) и Copernicus GLO-30 (доступные в ГИС QGIS), а также ALOS World 3D-30m (открытый доступ на официальном сайте Японского агентства аэрокосмических исследований (JAXA));
- результаты полевых и лабораторных исследований природных вод, фильтрата, почв и свалочного грунта на официальном управляемом городском полигоне Серпухова. Анализировалось 47 химических элементов в природных водах и фильтрате и 77 химическим элементам в пробах почв и грунтов.

Методы исследования:

- литературный анализ и работа с архивными материалами;
- картографические методы исследования;
- полевые исследования почв, грунтов, природных вод и фильтрата;
- работа с официальными статистическими и юридическими документами.

Основу исследования составили следующие картографические методы:

метод интерполяции: использовался для создания серии карт захоронения коммунальных отходов на ЕТР на основе полученных данных о местоположении полигонов из ГРОРО и свалок из общедоступных источников и поиска их точных координат с помощью мозаичных покрытий сервисов Google Earth Pro и Google Maps;

метод геоинформационных систем (ГИС): использовался для обработки (радиометрическая и геометрическая коррекция, фотограмметрическая обработка) собственных АФС в ГИС Agisoft Metashape с построением плотного облака точек, трехмерной полигональной модели, ЦММ и плановых изображений (ортофотопланов). При работе с ЦММ в QGIS были удалены артефакты и выделена ЦМР;

метод дешифрирования: использовался для идентифицирования конкретных объектов и явлений на ключевых объектах, на полигоне Московской области по данным ДЗЗ сверхвысокого разрешения проведено функциональное зонирование по дешифровочным признакам по схеме, приведенной в Инструкции по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов³;

метод цифрового моделирования: использовался для анализа рельефа, гидрологии и температурных характеристик поверхности земли (LST) с использованием фреймворков геообработки GRASS, SAGA и GDAL и встроенных алгоритмов QGIS (Калькулятор полей, Базовая статистика для полей, Сумма длин и др.);

метод вегетационного индекса (NDVI): использовался для оценки состояния растительного покрова по КС Landsat-8 в модуле «RS&GIS» и по многоспектральным изображениям БПЛА (RGB-каналов ортофотоплана) по отражательной способности типов поверхности.

Таким образом, по результатам картографирования ключевых объектов исследования было составлено 45 тематических карт, включающих серию ретроспективных карт состояния границ объектов, температуры поверхности, состояния растительного покрова, карты высот, крутизны и экспозиции склонов, водосборных бассейнов и водотоков, температурных аномалий, функционального зонирования.

После чего на основе результатов картографирования по разработанной комплексной геоэкологической системе проведено зонирование ключевых свалок и полигонов. КГСЗ

³ Свод правил СП 320.1325800.2017. Полигоны твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация // Минстрой России. – М., 2017. – 11 с.

предполагает разделение мест захоронения отходов на свалочное тело и прилегающую территорию с последующей классификацией зон по принципу иерархического деления от общих категорий к частным. Под зонами понимается отдельная территориальная единица свалочного тела или прилегающей территории, характеризующаяся наиболее общими и существенными признаками геоэкологических и географических условий, а также единым происходящим технологическим процессом и существующим состоянием геосистем.

Система включает два взаимосвязанных блока. Первый анализирует природные характеристики: рельеф (с классификацией по формам, крутизне склонов и устойчивости), гидрологический режим (дренированные/недренированные участки), температурные аномалии и состояние растительного покрова (естественные/искусственные сообщества, степень нарушенности). Особое внимание уделяется микрорельефу свалки, влияющему на миграцию загрязнений.

Второй блок оценивает антропогенное воздействие через классификацию землепользования по системе CORINE Land Cover и детальное зонирование свалки с выделением административно-хозяйственной, производственной, вспомогательной и проектируемой зон.

Для верификации зонирования на ключевом объекте – полигоне в Серпухове были проведены полевые исследования почв, грунтов, природных вод и фильтрата.

При полевых исследованиях проведено покомпонентное описание состояния окружающей среды, источников и визуальных признаков загрязнения с использованием поверенных сертифицированных приборов.

Растительность прилегающих территорий и свалочного тела описывалась по обычной геоботанической методике, которая включает методы биоиндикации и фитоценологии.

Полевая дозиметрия проведена с использованием портативного дозиметра-радиометра ДРГБ-01 «ЭКО-1» методом поисковой гамма-съемки.

Отбор образцов компонентов окружающей среды (почв, свалочного грунта, природной воды, фильтрата) проведен общегеографическими методами с определением координат точек навигатором, оснащенный спутниковой системой GPS/ГЛОНАСС.

Химический состав проб почв, грунтов, фильтрата, природных вод проводился в аккредитованной аналитической лаборатории ИПТМ РАН (Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН) на эмиссионных спектрометрах с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES, Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) моделей ICAP-61 и ICAP-77.

Полевые гидрохимические характеристики природных вод и фильтратов (кислотность pH, солесодержание (минерализация) и температура) с использованием в месте отбора проб определялись мультипараметровым прибором Hanna HI98129 Combo.

По результатам полевых исследований проведен статистический анализ (предельно допустимые концентрации (ПДК), кларки концентрации химических элементов, коэффициенты водной миграции, суммарный показатель загрязнения).

Показатели концентрации химических элементов анализировались от глобального до локального (местного) уровня, главным образом в почвах – депонирующих средах техногенных загрязнений. Оценка состояния почв проводилась на основе анализа собственных проб и результатов опробования, представленного хозяйствующим субъектом полигона Серпухова, по суммарному показателю загрязнения, предложенному Ю.Е. Саетом, и шкале Б.А. Ревича.

Научная новизна исследования:

- впервые предложен и реализован новый комплексный подход к разделению территории свалок (полигонов) на зоны, учитывающий не только функциональные, но и геоэкологические, технологические и географические факторы;
- впервые проведено зонирование геосистем свалочных тел на основе данных дистанционного мониторинга, по которому изучено их влияние на окружающую среду;
- впервые зонирование на основе комплексной геоэкологической системы может быть применено для оперативного мониторинга и контроля различных свалок в разных географических условиях на всей ЕТР;

- предложен усовершенствованный унифицированный подход к картографированию геосистем свалок и классификации их отдельных участков.

Научно-практическая значимость. Проведенное исследование вносит существенный вклад в развитие теоретических основ геоэкологического зонирования. Основные теоретические достижения работы включают:

- развитие методологической базы для контроля и мониторинга свалок за счет интеграции данных дистанционного мониторинга и комплексного учета геоэкологических, технологических и географических факторов;
- создание систематизированного и унифицированного подхода изучения свалок благодаря предложенному усовершенствованному методу зонирования и формирование на их основе единой научной базы для последующих исследований;
- расширение научных представлений о процессах в геосистемах свалочных тел благодаря детальному изучению их структуры с применением методов дистанционного мониторинга;
- развитие экологического образования через создание образовательных картографических материалов (серия карт свалок и полигонов ЕТР) и визуализацию проблем управления отходами;
- развитие теоретических основ для дальнейших исследований в геоэкологии при изучении антропогенно нарушенных территорий.

Результаты работы имеют важное прикладное значение:

- созданные карты распределения свалок и полигонов на ЕТР предоставляют важную информацию для планирования мероприятий по улучшению экологической обстановки в регионах;
- КГСЗ является более эффективным, комплексным и безопасным для исследователя методом, чем существующие традиционные, в частности она позволяет снизить затраты на проведение полевых исследований;
- разработанное зонирование способствует более эффективному управлению свалками, выявляя проблемные участки и определяя приоритеты для превентивных мер по защите окружающей среды вне зависимости от удаления свалок, их площади и доступности, сохраняя адаптивный принцип – оно может быть скорректировано под конкретные цели;
- зонирование обладает потенциалом масштабирования и его применения на всей ЕТР;
- результаты исследования могут быть использованы органами государственной власти, природоохранными организациями и предприятиями для оперативного мониторинга и контроля состояния свалок;
- принципы комплексного геоэкологического зонирования могут быть положены в основу государственно методики, используемой при проведении контрольных и надзорных мероприятий.

Исследование создает методологическую основу для совершенствования системы экологического контроля и управления отходами в масштабах страны. Такая система позволит оперативно выявлять проблемные участки и принимать обоснованные решения, что способствует повышению качества государственного экологического контроля и надзора.

Результаты зонирования могут быть использованы для разработки планов рекультивации свалок, включая восстановление почвенно-растительного покрова и улучшение гидрологического режима.

Положения, выносимые на защиту:

1. Распространение свалок и полигонов на ЕТР характеризуется неравномерностью, обусловленной плотностью населения, уровнем экономического развития регионов, эффективностью системы управления отходами.

2. Методический подход к зонированию различных геосистем свалок (полигонов) в разных географических условиях, основанный на КГСЗ с использованием дистанционного мониторинга.

3. Предложенное зонирование позволяет оперативно выявлять проблемные участки (зоны) и определять приоритеты для превентивных мер по защите окружающей среды вне зависимости от удаления свалок, их площади и доступности.

4. Предложенное зонирование обеспечивает унифицированный подход к картографированию геосистем свалок (полигонов) и классификации их отдельных участков.

5. По результатам зонирования установлено, что официальные управляемые полигоны оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Неофициальные свалки представляют еще большую опасность из-за отсутствия систем контроля и управления.

6. Разработанное зонирование может быть масштабировано и применено для мониторинга и контроля различных геосистем свалок на всей ЕТР.

Степень достоверности, апробация работы и публикации. КГСЗ апробирована на 4 ключевых объектах исследования на ЕТР, подтвердив свою практическую применимость.

Основные результаты работы докладывались автором на: 11-й международной молодежной школе-конференции «Меридиан»: от теории к практике в исследованиях природы и общества» (Курск) непосредственно в 2018 г., заочно в 2017 г.; семинаре «Наука на полях» (Москва), организованном культурно-просветительским центром «Архэ» в 2018 г.; семинарах отдела картографии и дистанционного зондирования Земли и отдела физической географии и проблем природопользования Института географии РАН (Москва, 2017-2025 гг.).

На тему диссертационного исследования опубликовано 7 печатных работ, из которых 2 статьи в рецензируемых изданиях из списка Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Российской Федерации, включая 1 статью в рецензируемом издании из международных рецензируемых журналах, индексируемых в базе Web of Science.

Вклад автора в проведенное исследование. Автор лично выполнил комплекс исследовательских мероприятий, включающий:

- проведение шести облетов ключевых объектов при помощи БПЛА;
- детальное картографирование и зонирование ключевых свалочных тел с прилегающими территориями;
- полевые исследования на полигоне Серпухова с отбором проб различных компонентов окружающей среды (природных вод, почв) и свалочного материала (грунты, фильтрат).

Научный вклад автора включает разработку усовершенствованной методики зонирования свалок (полигонов), дополненной оригинальной классификацией, учитывающей современные экологические требования, опыт и научные знания, которые в совокупности не охватываются существующими методами.

Проведена работа по актуализации географического положения полигонов ЕТР с подготовкой серии тематических карт.

Структура и объем работ. Научная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и изложена на 267 страницах текста, содержит 77 рисунков и 20 таблиц. Список литературы состоит из 254 источника, включая 68 на иностранном языке.

Благодарности. Автор выражает признательность своему научному руководителю – к.г.н. зав. отделом картографии и дистанционного зондирования Земли А.А. Медведеву за неоценимую помощь и внимание, оказанные на всех этапах научной работы. Особую благодарность автор выражает своему научному консультанту – к.г.н. с.н.с. отдела физической географии и проблем природопользования Т.М. Кудериной за поддержку и помощь, оказанную в ходе выполнения данной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Влияние свалок и полигонов на окружающую среду и их география

Глава посвящена комплексному исследованию влияния свалок и полигонов на окружающую среду и анализу их географического распределения на ЕТР.

В начале главы подробно рассматривается механизм воздействия мест захоронения отходов на природные системы. Свалки и полигоны представлены как открытые геосистемы, постоянно взаимодействующие с окружающей средой через прием отходов, выделение

фильтрата, свалочного газа, включая парниковые, тепла и твердых частиц, приводя ее к загрязнению (рис. 1).

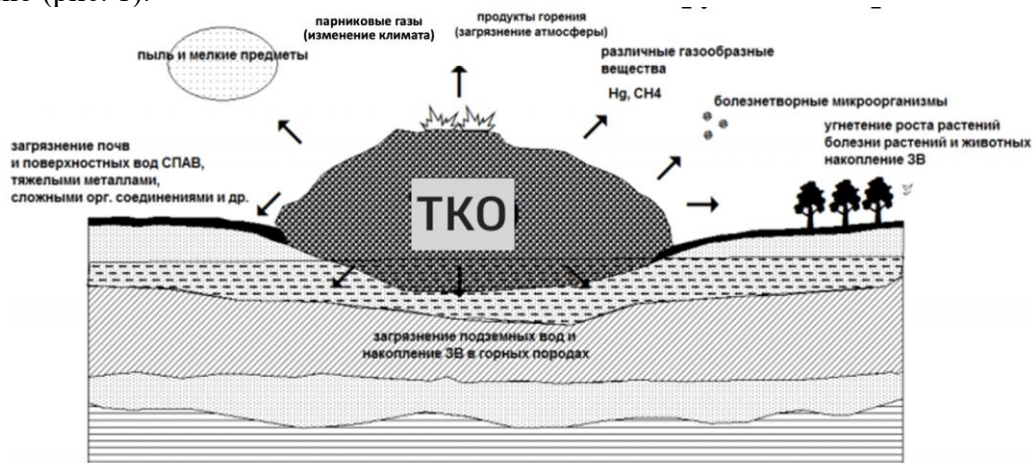


Рис. 1. Схема влияния полигона (свалки) на компоненты окружающей среды [Ашихмина, 2014]

Особое внимание уделяется химическому составу фильтрата из-за его высокой миграционной способности. Он образуется в результате взаимодействия проникающих в свалочное тело природных осадков (снега и дождя) и, в некоторых случаях, вод, используемых для увлажнения свалочного массива, с отходами и продуктами их разложения. Отмечается, что химический состав фильтрата зависит от географического положения и условий свалок, этапа жизненного цикла, условий складирования отходов, в частности, наличие технологий обработки (сортировка, измельчение) и захоронения (уплотнение отходов, изоляция минеральным грунтом, система дегазации и сбора фильтрата и пр.) отходов, массы и морфологического состава захораниваемых отходов [Алборов, 2002; Селиванова, 2014; Adaryani, 2022]. Поэтому, состав фильтрата для каждой свалки всегда будет уникальным.

Фильтрат состоит из органических веществ, неорганических макрокомпонентов, тяжелых металлов и органических ксенобиотиков, но обеспокоенность вызывают, выщелачиваемые компоненты фармацевтических препаратов и медицинских (биологических) отходов, а также пластификаторы [Давыдова, 2013].

Рассмотрены процессы образования свалочного газа на разных стадиях (аэробное и анаэробное) разложения отходов. Выявлено, что неприятный запах от свалки, главным образом, обусловлен наличием в свалочном газе примесей сероводорода, меркаптанов, эфиров, алкилбензолов, которые распространяются на расстояния до нескольких км, а на большинстве действующих свалок горение или тление отходов происходит круглый год в течение многих лет [Гурвич, 2006; Балахчина, 2012; Климов, 2012; Завизион, 2015; Балакин, 2017; Говор, 2017; Rodrigo-Ilarri, 2020].

Водные ресурсы подвержены химическому и механическому загрязнению из-за миграции фильтрата и переноса отходов, которые могут оседать на дне, плавать на поверхности или находиться в толще воды [Зомарев, 2010; Лебедь-Шарлевич, 2017; Каплина, 2019]. Стоит отметить, что исследованию плавучих поверхностных отходов посвящено много научных трудов, а также эта тема широко освещена в средствах массовой информации. В то время как свойствам невидимых отходов (тяжеловесных) в водоемах уделено мало внимания, в том числе с научной точки зрения.

В почвах вблизи свалок наблюдается накопление тяжелых металлов и нефтепродуктов, развиваются биологически опасные живые организмы (гельминтофауна, патогенные энтеробактерии, энтерококки и пр.), изменяются запасы гумуса, морфологические и физические свойства. Почвы приобретают свойства фитотоксичности, которые подавляют рост растений. Индикаторами деградации почв также являются такие факторы как переувлажнение и засоление. В конечном итоге биологическая активность почв уменьшается, а процессы самоочищения замедляются [Иванова, 2012; Ковалева, 2012; Романова, 2014; Басов, 2017; Кайданова, 2019; Попова, 2015; Ololade, 2019; Wang, 2022; Gu, 2022].

Рассматриваются последствия для растительного и животного мира, включая изменение видового состава, фитотоксичность и нарушение поведения животных.

Особый интерес место занимает анализ социально-экологических последствий, таких как влияние на здоровье населения и вклад в глобальное изменение климата.

Второй раздел главы посвящен системе обращения с отходами в России. Здесь представлен обзор нормативной правовой базы, классификации отходов, динамики образования и захоронения ТКО, изъятия земель под этот вид деятельности.

В течение последних двух десятилетий в России отмечается устойчивая тенденция к увеличению объема коммунальных отходов, объединяющих бытовые отходы населения и схожие по составу отходы предприятий⁴. До 2019 г. темпы роста составляли в среднем 9 % в год, что привело к рекордному показателю – 61 млн тонн ТКО за год. Однако в 2020-2023 гг. объем образования отходов стабилизировался на уровне около 45 млн тонн ежегодно. При этом, ежегодно в среднем на захоронение отправляется около 40 млн тонн ТКО (рис. 2).

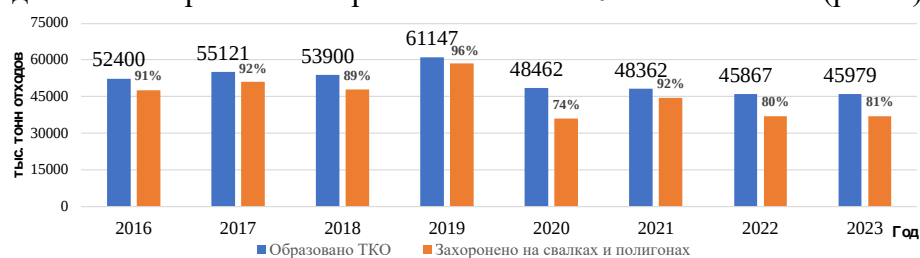


Рис 2. Динамика образующихся и захороненных ТКО в России в период с 2016 по 2023 гг., тыс. тонн

Наблюдается изменение морфологического состава ТКО, обусловленное переходом к модели потребления с преобладанием одноразовой упаковки. Развитие технологий упаковочных материалов привело к снижению доли пищевых отходов при одновременном росте объема упаковочных материалов (преимущественно полимерных) и общего количества отходов.

Подробно анализируются проблемы отрасли: преобладание захоронения над переработкой, недостатки системы учета и отчетности, распространение несанкционированных свалок, а также различные типы конфликтов природопользования, связанных с размещением объектов захоронения отходов.

Отмечено, что наиболее явно метод захоронения отходов показал себя в период начала урбанизации. В настоящее время объект захоронения отходов выступает, как необходимый элемент убросистемы, инфраструктуры любого района или города. Отказаться от данного метода удаления отходов в обозримом будущем невозможно, т.к. даже после тщательной сортировки остаются отходы (остатки) непригодные для вторичного использования или обезвреживания – «хвосты».

Анализируются основные типы конфликтов отхода-свалочного природопользования (дампинга): между нормативным качеством и состоянием окружающей среды, между различными целями природопользования, конфликты с местным населением из-за планов строительства.

Третий раздел содержит детальный анализ географического распределения свалок и полигонов на ЕТР.

На основе статистических данных и картографических материалов проведен анализ пространственного размещения объектов захоронения отходов, их связь с плотностью населения и уровнем экономического развития регионов. Особое внимание уделено зональным особенностям распределения, концентрации объектов в центральных регионах и проблемам северных и южных территорий (рис. 1, 2).

Выделены основные тенденции захоронения отходов на ЕТР:

⁴ Об отходах производства и потребления. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ: принят Государственной Думой 22 мая 1998 года. Одобрен Советом Федерации 10 июня 1998 года. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109 (дата обращения: 12.05.2019)

- отхоодно-свалочное природопользование на ЕТР имеет очаговое направление и осуществляется весьма интенсивно;
- официальные и управляемые объекты в основном сосредоточены в центральной части ЕТР;
- незаконные свалки находятся вблизи крупных агломераций;
- количество полигонов в регионах не связано с численностью населения;
- места захоронения мусора на ЕТР расположены неравномерно и в отсутствии какой-либо закономерности;
- в северных районах, например Северное Приуралье, а также на Северном Кавказе находятся огромные территории, где по данным на 2019 г., вовсе отсутствуют официальные мусорные полигоны;
- изучение свалок требует постоянного обновления и дополнения знаний об их географии, что способствует лучшему пониманию ситуации.



Рис. 3. Карта плотности объектов размещения отходов (полигонов) ЕТР на 2019 г., сервер World Imagery

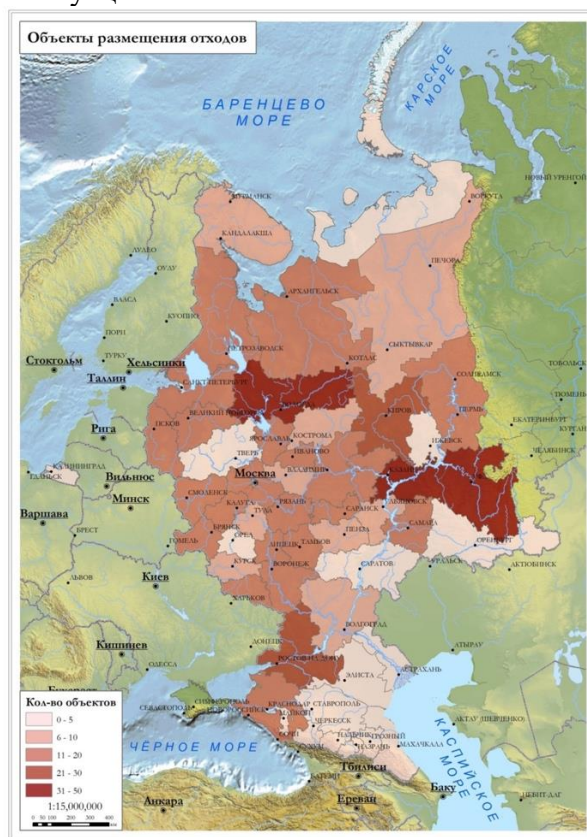


Рис. 4. Карта объектов размещения отходов (полигонов) в разрезе субъектов ЕТР на 2019 г., сервер World Imagery

Проведенный научный анализ подтверждает, что распространение свалок и полигонов на ЕТР характеризуется неравномерностью, обусловленной плотностью населения, уровнем экономического развития регионов, эффективностью системы управления отходами.

Завершает главу характеристика 4 ключевых объектов захоронения отходов, выбранных для обеспечения географической репрезентативности исследования и апробации КГСЗ: официального управляемого полигона в Серпухове, официального полигона в Суворове, неофициальной управляемой свалки в Белеве и неофициальной неуправляемой свалки в Одоеве. Для каждого объекта подробно описываются история эксплуатации, географическое положение, геологические и гидрологические особенности, а также социально-экологические последствия (рис. 5). Сравнительный анализ позволил выявить особенности выбранных объектов:

- территории, на которых расположены объекты, варьируются от плоских равнин (Серпухов) до слабовсхолмленных и сильно расчлененных территорий (Одоев, Белев). Полигон

в Суворове, напротив, характеризуется эрозионно-аккумулятивным рельефом с небольшим уклоном в сторону Черепетского водохранилища;

- почвенный покров также отличается: в Серпухове преобладают дерново-подзолистые почвы, преимущественно мелко- и неглубокоподзолистые, в то время как в Тульской области распространены типичные серые почвы;
- окружающие ландшафты варьируются от индустриальных (Суворов) до природно-сельскохозяйственных геосистем (Серпухов, Одоев, Белев);
- вблизи объектов наблюдаются различные элементы гидрологической сети: ручьи (Белев, Серпухов), пруды и опускания рельефа (Суворов), заболоченные местности (Одоев) и водохранилища (Суворов);
- близость населенных пунктов варьируется от крупных городов (Серпухов) до небольших городов и поселков (Суворов, Белев и Одоев).

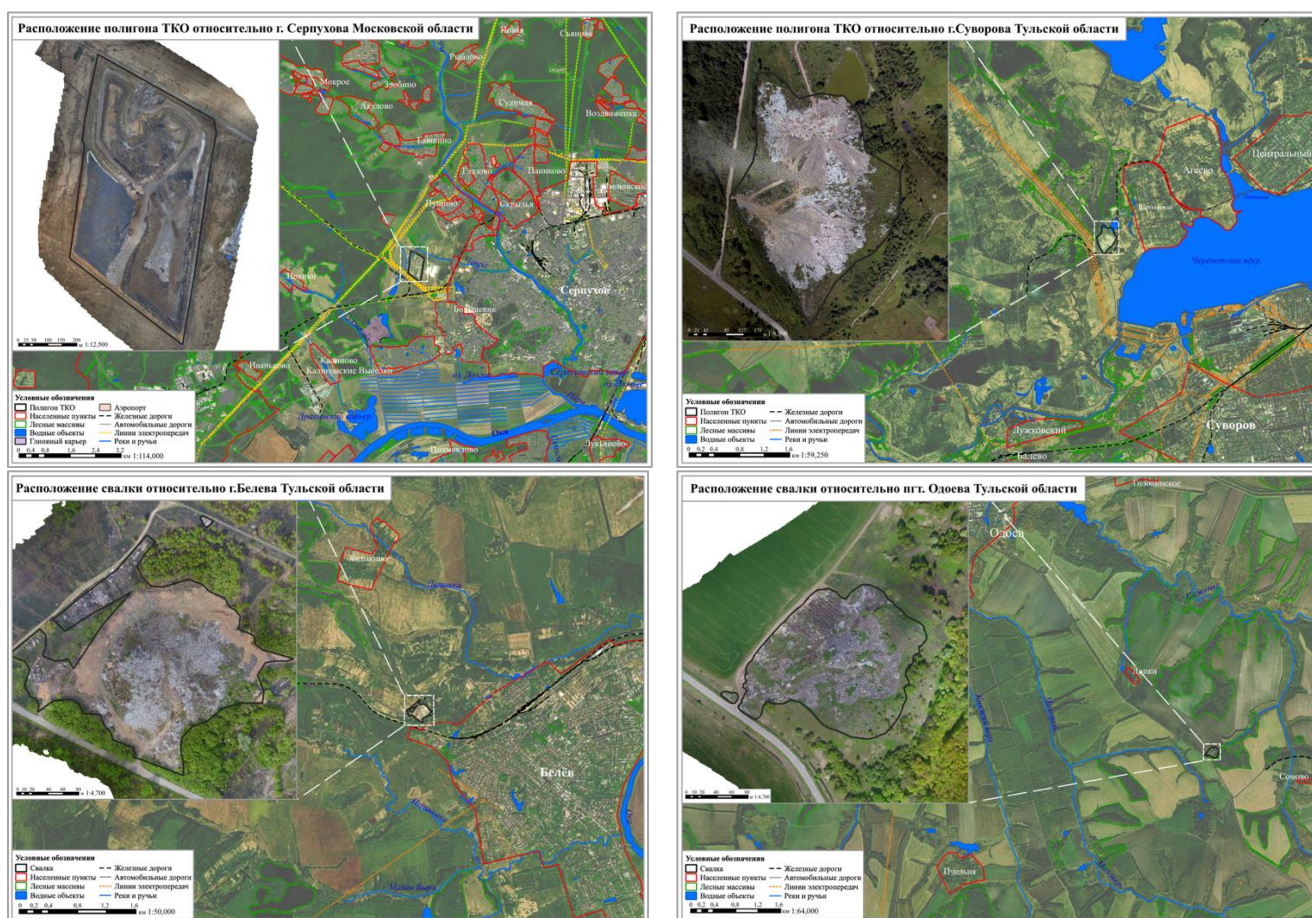


Рис. 5. Расположение ключевых объектов исследования относительно селитебной зоны (ортофотопланы 27.04.2018, 12.08.2015, 07.05.2019; сервер World Imagery)

В целом, глава формирует комплексное представление о современных проблемах захоронения отходов в России, механизмах их воздействия на окружающую среду и пространственных закономерностях распределения свалочных объектов. Материалы главы создают теоретическую и фактологическую основу для последующего исследования методов контроля и мониторинга свалок и полигонов.

Глава 2. Данные и методы дистанционного мониторинга мест захоронения отходов

Глава 2 посвящена данным и методам дистанционного мониторинга мест захоронения отходов. В ней рассматриваются современные подходы к исследованию свалок с использованием данных ДЗЗ, анализируются применяемые методы обработки данных и предлагается КГСЗ свалок и полигонов.

В разделе 2.1 рассматриваются современные исследования свалок на основе данных ДЗЗ. Отмечается, что традиционные полевые методы часто оказываются недостаточными для всестороннего изучения объектов из-за их труднодоступности и больших площадей изучаемых объектов. Основными средствами дистанционного мониторинга выступают КА и БПЛА, обеспечивающие получение данных в различных диапазонах электромагнитного спектра. Подробно описываются характеристики данных ДЗЗ, включая пространственное, временное, спектральное и радиометрическое разрешение. Особое внимание уделяется применению этих данных для выявления несанкционированных свалок, мониторинга их динамики, оценки состояния растительности и обнаружения опасных процессов.

Раздел 2.2 посвящен конкретным методам исследования ключевых свалок и полигонов. Приводятся материалы исследования: авторская аэрофотосъемка с БПЛА высокого разрешения (табл.), архивные снимки, ЦММ, ЦМР и результаты полевых исследований.

Табл. Параметры оптической съемки ключевых мест захоронения ТКО и характеристики итоговых данных

Параметры	Полигон (Серпухов)	Полигон (Суворов)	Свалка (Белев)		Свалка (Одоев)	
Дата съемки	2018/04/27	2015/08/12	2017/08/05	2019/05/07	2017/05/07	2019/05/07
Средняя плотность облаков точек, точек на м ²	7,35	0,207	29,2	48	47	46,6
Пространственное разрешение ортофотомозаик, см/пиксель	4,38	8,39	4,63	3,61	3,65	3,66
Пространственный охват итоговых данных, км ²	0,682	0,203	0,54	0,507	0,165	0,216
Высота полета, м	214	223	202	208	150	158
Пространственное разрешение ЦММ, см/пиксель	36,9	22	18,5	14,4	18,5	14,6

Дается характеристика используемых средств исследования: БПЛА: DJI Inspire 1 PRO, КА: Landsat-4, IKONOS, QuickBird, GeoEye-1, WorldView-2, Pleiades-1A/1B, WorldView-3, KOMPSAT-3A, WorldView-4, Landsat-8 и Keyhole KH-9.

Описываются методы исследования и картографические методы обработки и анализа АФС и КС, включающие интерполяцию, ГИС, дешифрирование, цифровое моделирование, NDVI.

Отдельно рассматриваются методики полевых исследований почв, грунтов, природных вод и фильтрата, проведенные в апреле 2018 г. совместно с научным руководителем А.А. Медведевым и научным консультантом Т.М. Кудериной, которые предназначались для верификации зонирования.

Маршрутное обследование было проведено по всей периферии объекта. Оно включало покомпонентное описание состояния окружающей среды, источников и визуальных признаков загрязнения с использованием поверенных сертифицированных приборов. Далее внимание было сосредоточено на самом свалочном теле: изучался состав захораниваемых отходов и применяемые технологические решения на всей поверхности полигона. Передвижение по объекту было организовано на специализированном автотранспорте – самосвале.

В ходе исследования был проведен отбор проб различных компонентов окружающей среды для анализа их состояния и степени загрязнения. Пробы воды отбирались из близлежащих водоемов и ручьев, которые могут подвергаться воздействию свалки, фильтрата – из мониторинговой скважины на свалочном теле и дренажной системы, перехватывающей боковой фильтрат. Отобраны: 3 пробы грунтов, 1 – почв, 5 – природной воды, 3 – фильтрата. Дополнительными данными о почвах послужили предоставленные хозяйствующим субъектом полигона материалы оценки воздействия на окружающую среду (14 проб). В совокупности с предоставленными данными от хозяйствующего субъекта полигона оценка почв и грунтов проведена в отношении 18 проб (рис. 6).

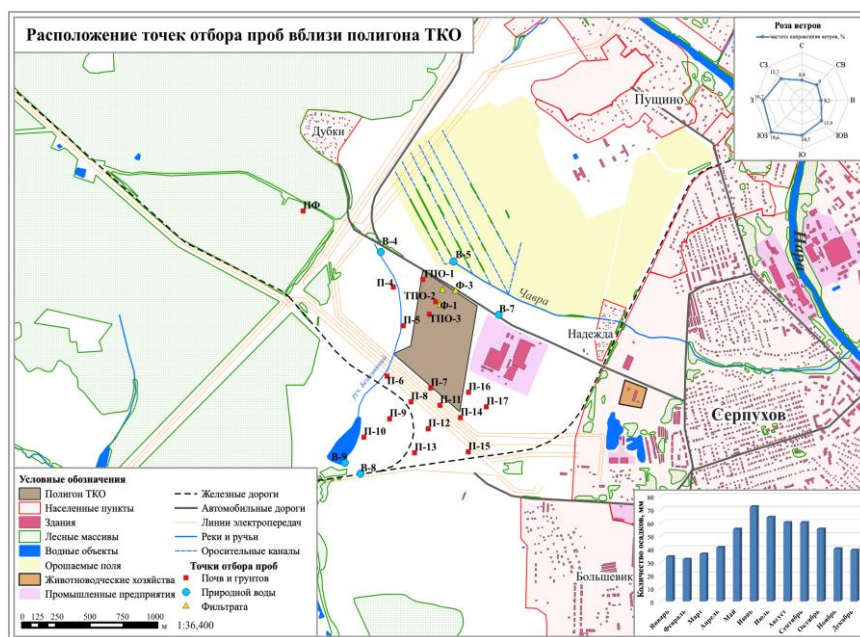


Рис. 6. Карта-схема расположения мест отбора проб природной воды, почв, свалочного грунта и фильтрата на полигоне Московской области

Приводятся и описываются методы статистического анализа, основанные на полученных результатах полевых исследований: ПДК, кларки концентрации химических элементов, коэффициенты водной миграции и латеральной дифференциации, суммарный показатель загрязнения почв.

В разделе 2.3 предлагается КГСЗ свалок и полигонов. Система основана на анализе рельефа, гидрологических условий, температурных характеристик и состояния растительности. Подробно описывается методика выделения зон и подзон свалочных территорий, включая природоохранные, рекультивированные и аномальные участки.

КГСЗ включает в себя разделение мест захоронения отходов на свалочные тела и прилегающие территории с последующей более детальной классификацией этих участков (зон).

В основу системы зонирования включено два блока:

Первый блок определяет характер рельефа, гидрологию, температуру и растительность и включает в себя 3 этапа картографирования.

1. Определение характера рельефа изучаемой местности и микрорельефа свалки.

Рельеф определяет расположение свалок в общем контексте окружающей среды: условия увлажнения и дренажа, пути переноса и накопления веществ, влияние на уровень грунтовых вод, интенсивность склоновых процессов и, как следствие, на процессы самоочищения и восстановления прилегающих территорий, включая почв. Кроме того, рельеф влияет на количество получаемой солнечной радиации.

На начальном этапе исследования важно тщательно выделять элементы рельефа, т.к. они служат основой для создания сетки контуров, которая в дальнейшем будет заполняться информацией о других составляющих объекта исследования.

Особое внимание при зонировании свалок уделено склонам ввиду того, что они являются каркасом для удержания свалочного массива от разрушения под действием силы тяжести и давления. Помимо общегеографических классификаций склонов (прямые, выпуклые, вогнутые, ступенчатые; нейтральные (западные и восточные), теплые (южные, световые), холодные (северные, теневые)) в данном исследовании предлагается выделять их по крутизне ската исходя из отраслевых документов, опыта эксплуатации и научных исследований [Чертков, 2015; Бутачина, 2016; Казакова, 2018].

Картографирование первого этапа осуществляется по общегеографической классификации элементов рельефа с уточнением по авторской классификации скатов склонов.

Выделяются:

- общий характер рельефа: равнинный или горный;

- формы рельефа: относительно плоские формы, положительные (выпуклости, возвышенности), отрицательные (вогнутости, углубления), замкнутые (холмы, курганы, котловины), незамкнутые (долины, овраги);

- характер поверхности рельефа: относительно горизонтальные, наклонные, всхолмленное или ровное строение.

- категории поверхности: свалка или прилегающая территория;

- элементы микрорельефа свалочного тела:

склоны (террасы): характер склонов: прямые, выпуклые, вогнутые, ступенчатые; экспозиция склонов: нейтральные (западные и восточные), теплые (южные, световые), холодные (северные, теневые); уровень ската склона: устойчивый, неустойчивый, потенциально опасный, опасный;

вершина: формы микрорельефа: ровные, положительные (гряды, навалы), отрицательные (просадки, провалы).

2. Определение характера увлажнения и нагрева поверхности.

В рамках гидрологического анализа целесообразно разграничить территории по типу увлажнения – выделять избыточно влажные и периодически затопляемые участки.

Учитывая специфику изучаемого объекта и возможность фильтрата мигрировать в поверхностные и подземные воды, рекомендуется также классифицировать территорию исследования по степени дренированности, т.е. наличия водупора – относительно дренированные и недренированные участки. Недренированные свидетельствуют о присутствии противофильтрационного экрана (геомембрана, глиняный «замок»).

Температура свалочного массива во многом обусловлена количеством получаемой солнечной радиации и ее отражением от поверхностей свалки, а также характеристиками рельефа, в частности, экспозицией склонов. Тем самым, характер нагрева дневной поверхности можно подразделить на фоновые или повышенные температуры.

3. Определение характера и состояния растительного покрова.

На свалках и прилегающих территориях целесообразно выделять участки, покрытые растительностью и не имеющие ее.

Растительность логично разделить на два вида – естественная и искусственная. Такое разделение связано с тем, что различные части свалки покрываются естественной дикорастущей травянистой растительностью, которая приспособлена к экстремальным условиям, где растительный грунт может формироваться при высоких температурах поверхности или большом количестве солей. К таким растениям относятся рудеральные и сорные виды. При проведении биологического этапа рекультивации свалок, их поверхность может засаживаться интродуцентами, например для повышения флористического разнообразия. Растительность с мощной корневой системой специально может высаживаться на склонах полигона для усиления их устойчивости.

По жизненной форме растительность предлагается классифицировать как – травяную (рудеральные и сорные виды, интродуценты декоративных, пищевых и кормовых растений, иные виды), кустарниковую и древесную.

По плотности зарастания предлагается следующая классификация:

- плотный растительный покров (более 70% покрытия);

- разреженный растительный покров (менее 30% покрытия).

Состояние растительности, как индикатора степени нарушенности территории на свалках и прилегающих территориях, практически разделять на следующие категории:

- ненарушенные сообщества (природный фон): свидетельствуют о соответствии участка естественным условиям местности и отсутствии видимых признаков антропогенного воздействия. Выделенный участок используется как эталон для сравнения с нарушенными участками;

- слабо и умеренно нарушенные сообщества: свидетельствуют о наличии признаков деградации растений. Такие участки могут восстанавливаться естественным путем или с минимальным вмешательством.

- сильно и очень сильно (тотально) нарушенные: свидетельствуют о сильном загрязнении почв, вод или воздуха, препятствующее жизни растений. Эти участки требуют активных мер по рекультивации (например, очистка почв, искусственное восстановление растительного покрова).

Второй блок отражает фактическое использование и состояние геосистем и включает – 2 этапа картографирования.

1. Классификация использования земель.

Определение наземного покрова происходит на основе концепции CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover. Эта типология земель представляет собой иерархическую систему классификации, которая используется для описания физических и антропогенных характеристик земной поверхности. Номенклатура землепользования CORINE широко используется для изучения, картографирования и оценки многолетней динамики природных и антропогенно-нарушенных местообитаний [Лавриненко, 2020; Погорелов, 2013, 2014]. Для достижения целей настоящего исследования взят второй уровень классификации CORINE (за исключением раздела «Моря»).

Выбор указанной классификации связан с тем, что в настоящий момент в России отсутствуют какие-либо доступные карты, отражающие реальное использование земель. Имеется лишь Публичная кадастровая карта Росреестра, но она указывает на их правовой статус.

Также, учтены мнения ученых, которые указывают на недостаточную научную обоснованность при детализации наземного покрова, что проявляется в отсутствии общепринятой терминологии и классификации. Поэтому в данном исследовании классификация использования земель строится исходя из его определения как биофизической оболочки, наблюдаемой на земной поверхности, которая включает в себя как природные, так и антропогенные объекты [Савин, 2014].

2. Детальная классификация свалочного тела и прилегающей территории.

Прилегающая территория делится на санитарно-защитную зону и зону за ее пределами. Применяя следующий принцип: если для конкретного объекта уже официально установлен размер санитарно-защитной зоны, то используется его размер, а если нет, то применяется законодательно рекомендованный размер. Как правило для таких объектов это 500 м или 1000 м.

Далее, выделенные территории делятся на «территории без изменений» и «аномальные поверхности».

Под первыми понимаем ландшафты без видимого изменения под действием свалок, под вторым – подвергшиеся трансформации, например, дешифрируется состояние нарушенного растительно-почвенного покрова или неконтролируемого скопления фильтрата.

В отношении свалок применяется своя детализация.

Вначале необходимо определить тип свалки: управляемая, неуправляемая, официальная и неофициальная. Это позволит усилить всесторонний анализ текущего состояния, определить соответствие природоохранным нормам, выявить сходства и различия свалок.

Затем берем за основу существующее функциональное зонирование, которое делит территорию свалки на хозяйственную и производственную зоны и расширяем его – добавляются вспомогательная и проектируемая зоны.

Вспомогательная – указывает на наличие в пределах территории свалки дополнительных технологических решений в отношении отходов, например на вспомогательной зоне могут размещаться пруды накопители технической воды, или сортировочный комплекс. Эти участки не относятся непосредственно к свалочному телу.

Проектируемая – подразумевает боковое расширение свалки.

После чего, на основе технологических процессов, происходящих на свалке, одновременно сопоставляя их с существующим состоянием геосистем выделяется 6 подзон:

- природоохранная и защитная подзона;
- подзона изолированных отходов;
- рекультивированная (законсервированная) подзона: технический, биологический этап;
- подзона активного захоронения отходов: без уплотнения, с уплотнением;
- транспортная подзона: постоянная, временная, обустроенная, необустроенная;

- подзона аномальных поверхностей: нарушенный растительно-почвенный покров, эвтрофикация водоема, спорадическое поверхностное и очаговое замусоривание, неконтролируемое скопление фильтрата, горение (открытое (пожар), скрытое (тление)), выгоревшие территории, нарушенный дренаж (скопление атмосферных осадков), нарушенные проектные и разрешительные параметры.

Каждой подзоне свойственен свой тип поверхности, который отражает материал природного или антропогенного происхождения и идентифицируется по дешифровочным признакам.

Природоохранная и защитная подзона на свалках и полигонах выполняет различные функции, направленные на снижение негативного воздействия на окружающую среду и обеспечение целостности и устойчивости самого объекта. Такие подзоны определяются по наличию площадных участков природоохранного значения. К ним относятся: противофильтрационный экран, система контролируемого сбора фильтрата, защитные грунтовые валы, санитарно-защитные полосы (участки с растительностью, которые снижают распространение пыли, запахов и загрязняющих веществ), дренажные системы.

Подзона изолированных отходов включает в себя захороненные (погребенные) отходы, поверхность которых перекрыта слоем грунта или искусственным материалом (геомембраной).

Выделение рекультивированной (законсервированной) подзоны позволяет полноценно отобразить процесс эксплуатации свалки. Свалки больших площадей разбивают на очереди эксплуатации. После заполнения одной из них захоронение отходов перемещается на следующую очередь. В это время на первой очереди проводятся работы по рекультивации или консервации. Завершающим этапом вывода свалки или ее части из эксплуатации становится период стабилизации, когда поверхность свалки обретает устойчивость. В этой подзоне встречаются такие типы поверхности как: минеральный грунт, противофильтрационный экран (геомембрана, глиняный «замок»), растительность.

В подзоне активного захоронения отходов типом поверхности могут выступать различные виды отходов: коммунальные, строительные, древесные, медицинские, биологические и пр.

В транспортной подзоне тип поверхности обусловлен материалом покрытия дорог: железобетонные (бетонные) плиты, щебень, грунт, отходы и пр.

Важное отметить то, что и у свалочного тела, и у прилегающих территорий есть одна объединяющая их подзона – подзона аномальных поверхностей. Она объединяет участки, которые не соответствуют нормальной эксплуатации свалки и характеризуются нарушенным экологическим состоянием.

В основу выделения этой подзоны легли научные разработки, посвященные дистанционному и геохимическому мониторингу почвенно-растительного покрова объектов размещения отходов [Замотаев 2018, 2019; Кайданова, 2019].

Краткая характеристика подзон аномальных поверхностей.

Подзона нарушенного растительно-почвенного покрова: участки с признаками эрозии почв и механического нарушения и угнетения растительного покрова, пострадавшие от смещения масс отходов или влияния свалки.

Подзона эвтрофикации водоемов: участки водоемов, поверхность которых покрыта биогенной пленкой, которая указывает на присутствие насыщенных биогенных элементов (азот, фосфор и пр.) из-за попадания фильтрата или стоков со свалки.

Подзона спорадического поверхностного замусоривания: участки с разбросанными легкими фракциями отходов (пластик, бумага, полиэтилен) вследствие разноса мусора ветром, водой или животными за пределы свалки или при их доставке на свалку.

Подзона очагового замусоривания: навалы отходов за пределами свалки.

Подзона неконтролируемого скопления фильтрата: участки природных понижений с избыточным увлажнением или затоплением фильтратом.

Подзона горения: участки с признаками тления или открытого горения отходов, идентифицируются по наличию дыма, повышенным температурам, пламени.

Подзона выгоревших территории: участки с наличие следов горения: обугленные остатки, зола.

Подзона нарушенного дренажа (скопления атмосферных осадков): участки скопления атмосферных осадков в естественных понижениях, приводящие к застою воды, а затем и к заболачиванию или образованию временных водоемов. Возможно смешение осадков с фильтратом, что усиливает загрязнение.

Подзона нарушения разрешительных и проектных параметров: участок, где выявлены отклонения от установленных проектных и разрешительных норм, таких как высота свалочного тела, границы размещения отходов, захоронение неразрешенных отходов или другие технологические параметры. Эти нарушения свидетельствуют о несоблюдении технологии захоронения отходов и могут привести к серьезным экологическим и техническим последствиям.

КГСЗ представляет собой унифицированный и обоснованный подход к классификации и картографированию свалок (полигонов) для изучения их состояния и негативного влияния на окружающую среду с выводом результатов в наиболее удобный контекст восприятия информации – картографический материал. Для систематизации данных наиболее удобным способом представления результатов служат матричные легенды, которые демонстрируют связь геоэкологических и технологических особенностей свалки с наиболее значимыми факторами их дифференциации, такими как рельеф и растительность.

Глава в целом демонстрирует преимущества дистанционных методов для мониторинга и контроля свалок, предоставляя комплексный инструментарий для оценки их состояния и воздействия на окружающую среду. Предложенная система зонирования позволяет стандартизировать подходы к исследованию свалочных территорий и способствует принятию обоснованных управленческих решений.

Глава 3. Зонирование мест захоронения отходов по данным дистанционного мониторинга

Глава 3 посвящена картографированию и зонированию ключевых мест захоронения отходов на основе данных дистанционного мониторинга.

В разделе 3.1 представлены результаты картографирования и зонирования геосистем ключевых объектов захоронения отходов.

Официальный управляемый городской полигон на примере Серпухова. Первым рассмотрен официальный управляемый полигон в Серпухове. Анализ его развития с 1979 по 2021 гг. показал увеличение площади с 24,4 до 34,4 га и объема отходов свыше 3,8 млн тонн.

Полигон прошел несколько этапов: начальная эксплуатация с четкими границами, расширение территории, введение новых очередей с современными системами изоляции и сбора фильтрата.

Свалочное тело представляет собой насыпной холм высотой до 27 м с различными по крутизне склонами. Преобладающий уклон исследуемой территории направлен на запад в сторону русла безымянного ручья.

Отмечены температурные аномалии до +39°C, связанные с разложением отходов.

Проведено функциональное зонирование территории. Наблюдаются как негативные последствия (вырубка лесов, расширение в сторону населенных пунктов), так и попытки минимизировать воздействие на окружающую среду (противофильтрационные экраны, системы дегазации).

Анализ положения объекта на Публичной кадастровой карте позволяет определить правомерность использования земельных участков по назначению в период его эксплуатации. Данные дистанционного мониторинга демонстрируют отсутствие превышений допустимой высоты насыпного холма (168 м) и свидетельствуют о высотной динамике насыпи отходов. На полигоне происходит просадка свалочного тела за счет уплотнения отходов и под действием силы тяжести.

Результаты картографирования ретроспективного анализа, характера рельефа, гидрологии, температуры и растительности, послужившие основой для проведения предложенного зонирования, представлены в виде 8 карт. Некоторые из них приведены на рис. 7.

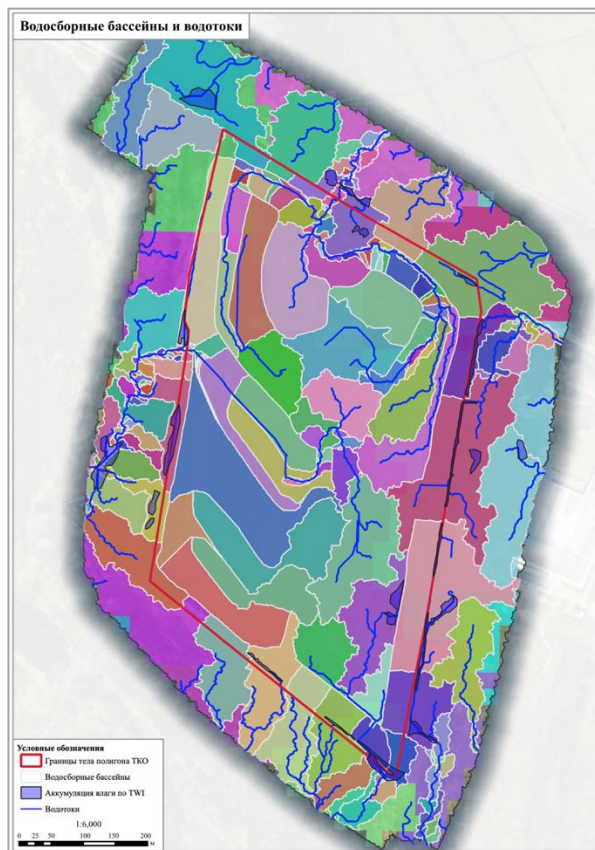
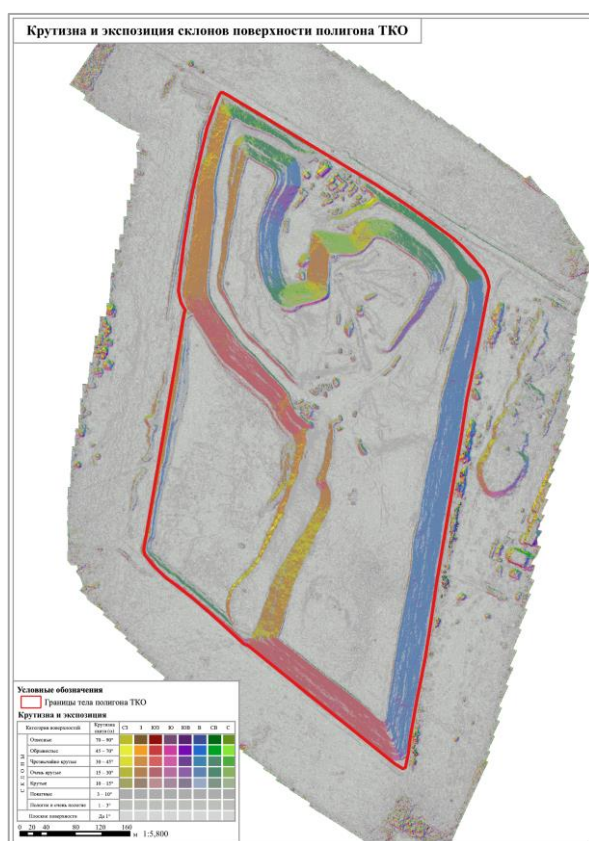


Рис. 7. Результаты картографирования полигона Серпухова: 1 – Карта высот, ЦММ апрель 2018 г.; 2 - Карта крутизны и экспозиции склонов, ЦММ апрель 2018 г.; Карта водосборных бассейнов и водотоков, ЦМР апрель 2018 г.; Карта функционального зонирования, ортофотоплан апрель 2018 г.

Для иллюстрации разнообразных видов использования участков захоронения отходов при проведении комплексного геоэкологического зонирования был выбран ортофотоплан 2018 г. Этот

период примечателен тем, что на полигоне построена 4-ая (новая) очередь эксплуатации, устанавливалась система дегазации и сбора фильтрата, а также активно велось захоронение отходов.

На полигоне Московской области площадью 34 га было проведено зонирование свалочного тела и прилегающей территории (рис. 8, 8.1, 9, 9.1). В результате исследований выделено 71 зон, из которых 48 относятся непосредственно к свалочному телу, а 23 – к прилегающей территории.

Свалочное тело управляемого полигона общей площадью 34 га разделено на 48 зон, которые можно классифицировать следующим образом:

14 зон расположены на вершине: некоторые из них подвержены избыточному увлажнению, имеются отрицательные (проседание тела) и положительные (защитный вал) формы рельефа. Большая часть вершины пересыпана грунтом, а также проложены транспортные артерии;

34 зоны определены на склонах (террасах): выявлены неустойчивые и потенциально опасные участки, некоторые подвержены избыточному увлажнению и высоким температурам, зафиксированы склоновые процессы осыпь и эрозии (линейные водные);

4 зоны природоохранного значения: грунтовый вал на вершине свалки, грунтовый вал, окаймляющий полигон у его подножья, геомембрана в ложе четвертой очереди, система сбора и перехвата фильтрата;

4 зоны аномальных поверхностей, которые отражают загрязнение склонов отходами.

Всего на прилегающей территории выделено 23 зоны, которые классифицированы следующим образом:

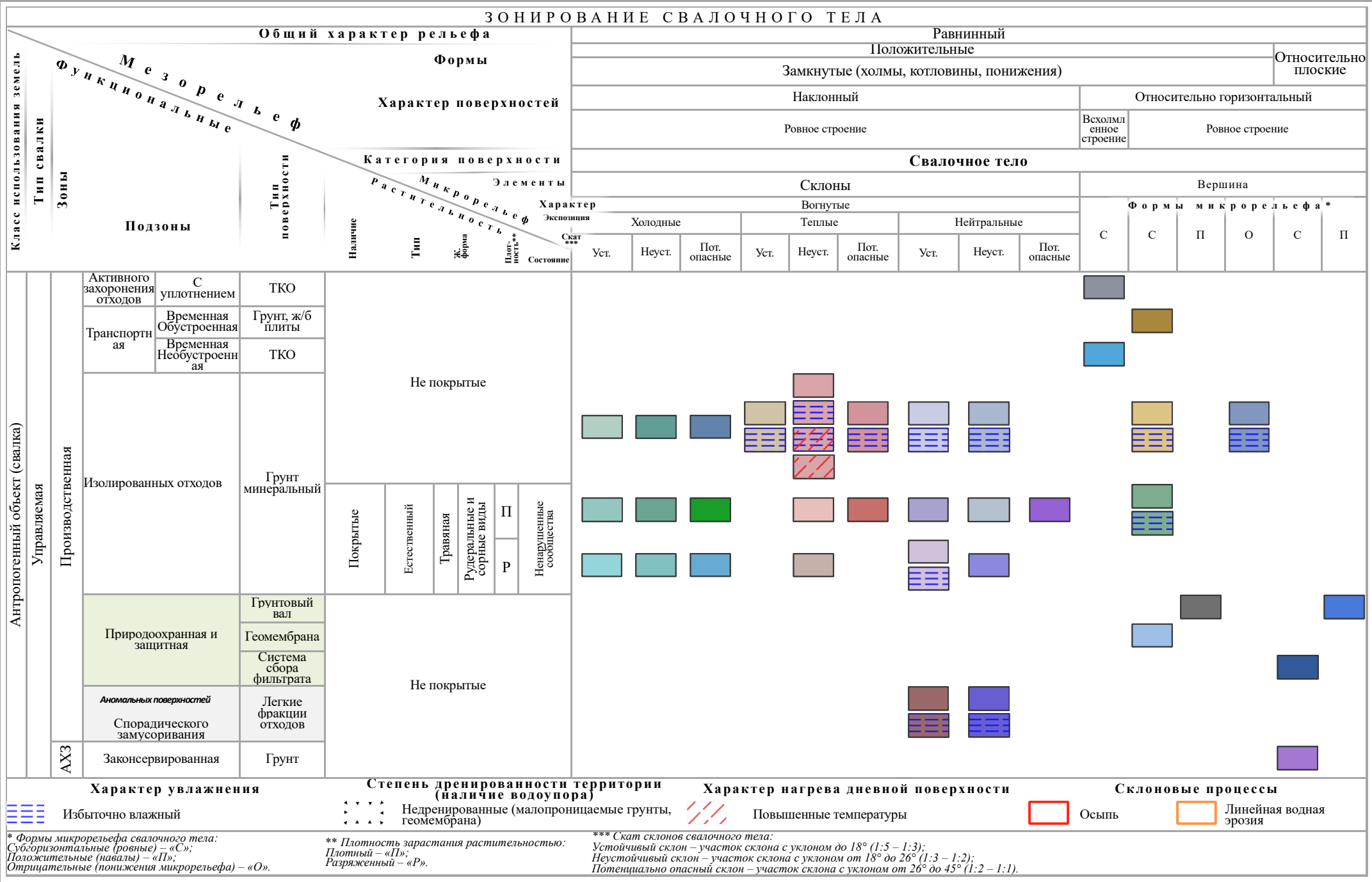
- 2 зоны считаются очень опасными из-за высокой концентрации загрязняющих веществ и сильного нарушения растительно-почвенного покрова;
- 6 зон подвержены загрязнению отходами и фильтратом;
- 2 зоны характеризуются избыточным увлажнением, что связано с утечками фильтрата и раскисшей землей.



Рис. 8. Карта зонирования геосистемы свалочного тела официального управляемого городского полигона Серпухова



Рис. 9. Карта зонирования геосистемы прилегающей территории официального управляемого городского полигона Серпухова



Зонирование прилегающей территории																				
Классы использова ния земель	Общий характер рельефа										Равнинный									
	Функциональные	Зоны	Подзоны	Тип поверхности	Наличие	М е з о р е л ь е ф	Р а с т и т е л ь н о с т ь	Ж. форма	Вид	Плот- ность**	Состояние	Формы	Характер поверхностей	Относительно плоские	Отрицательные (вогнутости, углубления)					
														Прилегающая территория	Незамкнутые (речная долина)	Замкнутые (понижения, котловины)				
															Относительно горизонтальный					
															Ровное строение					
Антропогенные объекты	СЗЗ (300 м)	Аномальных поверхностей Спорадического замусоривания	Легкие фракции ТКО	Не покрытые																
Пахотные земли		Без видимых изменений		Покрытые	Искусственный	Травяная	Сел. Хоз.	П	Ненарушенные сообщества (природный фон)											
Леса		Аномальных поверхностей Спорадического замусоривания	Легкие фракции ТКО			Древесная		Р	Слабо и умеренно нарушенные											
		Без видимых изменений			П				Ненарушенные сообщества (природный фон)											
		Аномальных поверхностей Спорадического замусоривания	Легкие фракции ТКО			Естественный	Травяная	Луговая	Р	Слабо и умеренно нарушенные										
Кустарники и/или травянистая растительность		Неконтролируемого скопления фильтрата	Фильтрат		Сильно и очень сильно (тотально) нарушенные															
		Нарушения раст.- почвенного покрова	Механическое нарушение		Ненарушенные сообщества (природный фон)															
		Без видимых изменений			П															
Водные объекты		Аномальных поверхностей Эвтрофикации водоема	Биогенная пленка	Не покрытые																
Антропогенные объекты	За пределами СЗЗ	Без видимых изменений		Покрытые	Искусственный	Травяная	Сел.- Хоз.	П	Ненарушенные сообщества (природный фон)											
Пахотные земли						Древесная						П								
Леса					Естественный									Травяная		Луговая				
						Кустарники	Биогенная пленка													
Водные объекты		Аномальных поверхностей Эвтрофикации водоема	Не покрытые																	
Характер увлажнения																				
		Избыточно влажный																		
** Плотность зарастания растительностью: Плотный – «П»; Разряженный – «Р».																				

Рис. 9.1. Легенда к карте зонирования геосистемы прилегающей территории официального управляемого городского полигона Серпухова

Вблизи объекта наблюдаются следующие классы использования земель: антропогенные объекты, пахотные земли, леса, кустарники и/или травянистая растительность, а также водные объекты. Каждый из этих классов имеет свои особенности и степень воздействия со стороны полигона. Вдоль дороги, по которой осуществляется доставка отходов, наблюдаются признаки загрязнения легкими фракциями отходов (например, пластик, бумага, полиэтилен). Отходы рассеиваются ветром или выпадают из мусоровозов, что создает дополнительную экологическую нагрузку на окружающую среду.

На полигоне выявлены многочисленные случаи миграции фильтрата, оказывающего негативное воздействие на окружающую среду. С южной стороны полигона жидкость просачивается через склоны и приводит к загрязнению почв и грунтовых вод. С западной стороны обнаружен разлив фильтрата, который может представлять угрозу для близлежащих экосистем, т.к. он попадает в ручей. В озере, в которое впадает этот ручей, расположенном к юго-западу от полигона, обнаружена биогенная пленка.

Свалочное тело демонстрирует все признаки контроля и управления процессами захоронения отходов. Однако присутствуют зоны, требующие повышенного внимания со стороны инженеров, включая проведение мероприятий по усилению устойчивости откосов, корректировку системы сбора биогаза и фильтрата, устранение участков с избыточным увлажнением и эрозией. Прилегающая территория полигона оценивается как крайне неблагоприятная с экологической точки зрения. Наблюдаемые загрязнения, распространение отходов и фильтрата, а также избыточное увлажнение почв свидетельствуют о значительном негативном воздействии на окружающую среду.

Полевые и лабораторные исследования подтвердили результаты геоэкологического зонирования полигона в Московской области, выявив крайне неблагоприятную экологическую обстановку на прилегающей территории из-за загрязнений, распространения отходов и фильтрата (рис. 10). Например, увядание и деградация растительности выявлена в местах разлива фильтрата на севере у въезда на полигон, на южном углу полигона и с западной стороны объекта, где сток со свалки впадает в ручей.

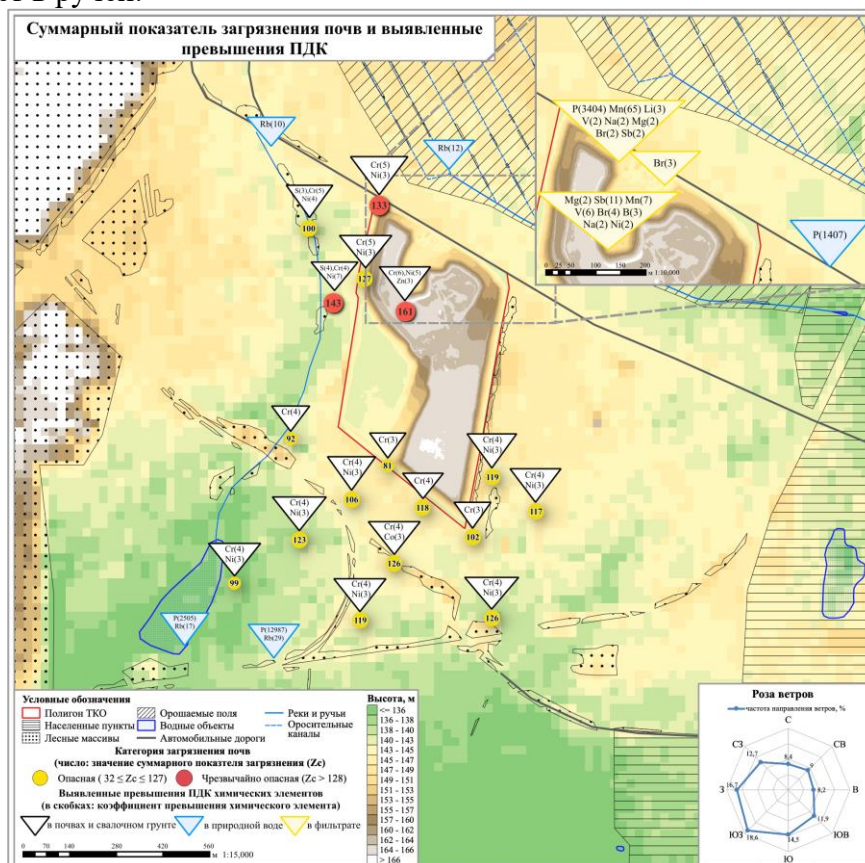


Рис. 10. Карта-схема суммарного показателя загрязнения почв и выявленные превышения ПДК на полигоне Серпухова, исследования 2018-2021 гг.

Гидрологические исследования подтвердили распространение загрязнения по руслу ручья вплоть до озера, расположенного в юго-западном направлении от полигона. Значения pH явно демонстрируют влияние полигона на природные воды. Определение минерализации вод показало зависимость этого показателя от близости к свалочному телу: чем ближе к полигону, тем выше минерализация воды. Фильтрат мусорного полигона относится к категориям солоноватых и соленых вод. Природные воды, протекающие выше по течению от полигона, характеризуются более низкими температурами, в то же время воды, протекающие южнее от полигона, демонстрируют повышение температуры.

Оценка экологического состояния природных вод и фильтрата выявила существенные превышения нормативов – ПДК потенциально опасно для селитебной зоны. Подземный фильтрат оказался наиболее опасным для окружающей среды по сравнению с боковым выщелачивающимся.

Среди наиболее подвижных мигрантов в природных водах вблизи полигона выделяются S, Rb, Sb и Br. Остальные элементы, как в природной воде, так и в фильтрате, характеризуются слабой миграцией.

Подчиненные ландшафты вблизи полигона относительно автономных (почвы березовой опушки леса северо-западнее объекта) накапливают тяжелые металлы. На полигоне выявлены опасные и чрезвычайно опасные зоны по суммарному показателю загрязнения почв.

Несмотря на признаки контроля над процессами захоронения на данном объекте, отдельные зоны свалочного тела требуют усиленного внимания и инженерных мероприятий для повышения устойчивости, оптимизации систем сбора биогаза и фильтрата, а также устранения проблем с увлажнением и эрозией. Полигон является сложным техногенным объектом, нуждающимся в постоянном мониторинге и управлении для снижения экологических рисков и поддержания структурной устойчивости.

Официальный управляемый городской полигон на примере Суворова. Далее изучен полигон в Суворове, где наблюдалось неупорядоченное расширение свалочного тела, включая засыпку водоемов отходами. На протяжении всего периода его существования, полигон неизменно оставался активным местом захоронения отходов. До 2017 г. можно наблюдать отсутствие строгого соблюдения технологий при захоронении отходов. Спецтехника не равномерно разравнивала слои отходов по всей территории полигона.

Результаты картографирования демонстрируют всхолмленную поверхность полигона, представленную навалами отходов в виде холмов и гряд, без образования единого насыпного холма из свалочного массива. Большая часть объекта имеет восточную, северо-восточную и юго-восточную экспозиции склонов. Водотоки берут начало с тела полигона и следуют в сторону понижения рельефа, направляясь к Черепетскому водохранилищу. Свалочный массив обладает повышенными температурами по сравнению с фоном. Хаотичное захоронение отходов приводило к зарастанию территории и, как следствие, к более высоким значениям NDVI.

Исходя из функционального зонирования – объект не обладает четко разграниченными зонами и элементами инфраструктуры, необходимыми для его нормальной эксплуатации. При сравнении полигона Серпухова и Суворова обнаружены явные различия в управлении и соблюдении технологий захоронения отходов в период их эксплуатации.

Свалочное тело полигона занимает площадь 8,7 га земли и имеет 8 зон. Большая часть полигона хаотично покрыта растительностью. Растительность представлена рудеральными и сорными видами при чем, плотное зарастание происходит по всей периферии свалочного тела. Это указывает на отсутствие регулярного ухода и контроля за распространением растительности. Также без четких ровных границ происходит активное захоронение отходов. Присутствует временная обустроенная дорога в виде вытянутых полигонов. О процессах разложения органических веществ и выделении тепла свидетельствует зона повышенных температур в центре активного захоронения отходов.

На прилегающей территории выделено 32 зоны:

8 зон указывают на загрязнение окружающей среды, включая загрязнение почв, водоемов и лесных массивов;

2 зоны, подверженные избыточному увлажнению.

Зонирование территории полигона демонстрирует, что объект находится в состоянии, далеко от экологических и технологических стандартов. Имеются все признаки неорганизованного процесса захоронения отходов, отсутствия системного подхода к управлению территорией и недостаточного контроля за ее состоянием. Для улучшения ситуации необходимы срочные меры, включающие внедрение современных технологий утилизации отходов, регулярный мониторинг экологических параметров (температуры, газовыделений, состояния почв и растительности).

Неофициальная управляемая городская свалка на примере Белева. Неофициальная свалка в Белеве характеризовалась хаотичным размещением отходов без уплотнения. В наблюдаемый период с 2015 по 2020 гг. территория вблизи свалки подвергалась захламлению. Сама свалка демонстрировала тенденцию к расширению своих границ, несмотря на периоды неактивности, когда захоронение отходов приостанавливалось, и ее поверхность покрывалась растительностью.

Поверхность свалки всхолмленная и состоит из множества бугров и небольших холмов высотой до 5 м. Навалы отходов присутствуют хаотично на всем свалочном теле. Признаков разравнивания и уплотнения отходов не выявлено.

Моделирование элементарных водосборных бассейнов позволило выявить основные направления водотоков на территории свалки. Большинство потоков направлено с юго-востока на северо-запад, а также на восточном участке свалки, где вода направляется в лесной массив в сторону понижения рельефа.

Температура поверхности свалки в период ее эксплуатации значительно превышала показатели прилегающих территорий. С началом рекультивации свалки в 2020 г. наблюдалось ее заметное снижение, а к 2021 г. свалка вовсе не различима с фоновыми температурами, что свидетельствует о завершении активной фазы разложения отходов и успешной рекультивации объекта.

Низкие значения вегетационного индекса фиксируются исключительно на теле свалки. На ее периферии ощутимого деградиционного воздействия на растительный покров по анализируемому пространственному разрешению данных ДЗЗ не обнаружено.

Всего на свалке площадью 4,9 га присутствует 30 зон, из них:

20 зон характеризуют зону активного захоронения. Это обусловлено в первую очередь разными видами отходов, которые захараниваются на этой свалке (коммунальные, строительные, древесные);

2 зоны природоохранного назначения (грунтовый вал);

4 зоны с повышенными температурами в месте захоронения отходов;

1 зона с избыточным увлажнением в понижении рельефа свалки;

1 зона аномальных поверхностей (зольный остаток после сжигания).

На прилегающей территории выявлено 30 зон, из которых 13 зон явно указывают на загрязнение прилегающих территорий.

Зонирование указывает на ряд проблем, связанных с организацией и функционированием свалки, включая отсутствие уплотнения отходов, сжигание отходов, возможные риски загрязнения почв и атмосферы, а также необходимость контроля за процессами зарастания и гидрологическими особенностями. Загрязнение почв, водных объектов, деградация растительного покрова и распространение отходов за пределы свалки требуют срочных мер по ликвидации этих загрязнений.

Неофициальная неуправляемая поселковая свалка на примере Одоева. Поселковая свалка в Одоеве демонстрировала изменения площади, отсутствие контроля за размещением отходов и практику их сжигания. После рекультивации в 2020 г. параметры территории выравнивались с фоновыми значениями.

С 2012 по 2020 гг. площадь свалки демонстрировала как положительную, так и отрицательную динамику, сохраняя при этом неровную линию контура границ. Поверхность свалки временами зарастала растительностью, после чего на этих же участках снова происходило

захоронение отходов. В активной фазе объект не показывал признаков контроля или соблюдения технологий захоронения отходов, что позволило ему в течение длительного времени загрязнять окружающую среду.

Поверхность, покрытая отходами, представляет собой неравномерную насыпь, образующую бугры и небольшие холмы высотой до 4 м. Свалка имеет положительную форму рельефа по отношению к прилегающим территориям, но не является выраженным однородным насыпным холмом, а имеет в своей структуре множество небольших поднятий в виде бугров. Наблюдаются опасные поверхности, соответствующие очень крутым и чрезвычайно крутым склонам, однако они приурочены к навалам, грядам и буграм отходов, не затрагивая целостность свалки. Несимметричность экспозиции склонов не выражена, а значит свалка получает примерно одинаковое количество солнечного тепла.

Сеть водных потоков берет начало в центральной части свалки и распределяется в направлении лесного массива на востоке, минуя обрабатываемые поля на северо-западе.

Анализ температурных характеристик показал, что свалка не выделялась на фоне окружающей среды, за исключением одного летнего периода перед началом ее рекультивации. После проведенных работ, она вовсе потеряла свои отличительные температурные особенности.

Значительного ухудшения растительного покрова на исследуемой территории не обнаружено.

Площадь свалочного тела составляет 3,8 га. В пределах этой территории выделено 19 зон, из них:

13 зон приходится на зону активного захоронения отходов, что связано с разными видами захораниваемых отходов;

3 зоны с избыточным увлажнением;

1 зона с повышенными температурами.

Прилегающая территория свалки разделена на 15 зон, каждая из которых имеет свои особенности и степень воздействия на окружающую среду, из них:

8 зон явно свидетельствуют о загрязнении окружающей среды;

2 зоны являются периодически затопляемыми.

Вокруг свалки наблюдается зона замусоривания легкими фракциями отходов, которые разносятся ветром, что указывает на отсутствие эффективной системы удержания и пересыпки отходов. Загрязнение распространилось на сельскохозяйственные поля, создавая угрозу для качества сельскохозяйственной продукции. Токсичные вещества, накапливающиеся в почве, могут попадать в растения, а затем в пищевую цепочку.

Описанное зонирование указывает на серьезные проблемы в организации и эксплуатации свалки и свидетельствуют о серьезном негативном воздействии на окружающую среду.

В разделе 3.2 рассмотрен анализ влияния исследуемых мест захоронения отходов на окружающую среду, который выявил серьезные экологические проблемы на различных типах свалок. Апробация зонирования официальных полигонов в Серпухове и Суворове, а также неофициальных свалок в Белеве и Одоеве показала, что все они оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду, хотя степень этого воздействия существенно различается в зависимости от типа объекта и организации процесса захоронения отходов.

Наиболее организованный полигон в Серпухове, несмотря на наличие систем контроля и частичное соблюдение технологий захоронения, он продолжает оказывать негативное влияние даже после закрытия. Основные проблемы связаны с разносом отходов ветром, неэффективной системой сбора фильтрата, что приводит к загрязнению почв и водных объектов.

Полигон в Суворове демонстрирует менее организованный процесс захоронения, что выражается в хаотичном расширении территории, засыпке водоемов и отсутствии эффективных систем сбора биогаза, о чем свидетельствуют температурные аномалии на поверхности свалочного тела.

Неофициальные свалки в Белеве и Одоеве представляют еще большую экологическую опасность из-за полного отсутствия системного подхода к захоронению отходов. Они характеризуются хаотичным складированием отходов, практикой их сжигания, отсутствием

каких-либо защитных барьеров и систем сбора фильтрата. Особую тревогу вызывает загрязнение водных объектов, расположенных в непосредственной близости от свалок, а также деградация почвенного и растительного покрова на прилегающих территориях.

Общими для всех исследуемых объектов являются такие негативные воздействия, как загрязнение атмосферного воздуха за счет выбросов свалочного газа и продуктов горения отходов, загрязнение водных ресурсов токсичным фильтратом, деградация почвенного покрова.

В целом исследование показало, что управляемые полигоны, несмотря на имеющиеся проблемы, демонстрируют попытки минимизации экологического ущерба, в то время как неуправляемые свалки требуют срочных мер по рекультивации.

В разделе 3.3. даны рекомендации по применению зонирования свалочных тел и прилегающих территорий по данным дистанционного мониторинга. Для минимизации негативного воздействия предложен комплекс мер, дифференцированный для каждого типа объектов. Для официальных полигонов акцент делается на совершенствование существующих систем контроля и мониторинга, укрепление склонов, улучшение систем сбора фильтрата и биогаза. Для неофициальных свалок первоочередными мерами являются их полная ликвидация и последующая рекультивация с восстановлением нарушенных экосистем.

Зонирование может быть интегрировано в повседневную работу компаний, эксплуатирующих свалки, что позволит им оперативно реагировать на изменения экологической обстановки и соблюдать природоохранные требования. Оно может быть использовано органами государственной власти для проведения проверок, оценки экологического состояния свалок и контроля за выполнением природоохранного законодательства.

Разработанная система зонирования может быть оформлена как методическое руководство для управляющих организаций, что упростит ее внедрение и использование, либо может быть утверждена на федеральном уровне как стандартный инструмент для мониторинга и управления свалками по всей стране.

Для успешного практического применения разработанной системы зонирования необходимо:

- разработать нормативно-методическую базу: оформить систему зонирования в виде методических рекомендаций отраслевым ведомством;
- обучить персонал: провести обучение сотрудников управляющих организаций и контролирующих органов по использованию системы зонирования;
- обеспечить техническую поддержку: внедрить современные технологии дистанционного мониторинга (например, использование БПЛА, спутниковых снимков) для сбора данных и анализа состояния свалок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Свалки и полигоны оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду: загрязняют почву, грунтовые воды и атмосферу, выделяя токсичные вещества и парниковые газы, создают угрозу для здоровья населения.

С ростом уровня потребления и из-за отсутствия инфраструктуры для переработки отходов их количество продолжает увеличиваться, что создает нагрузку на существующие официальные полигоны, и провоцирует образование стихийных мест захоронения отходов – свалок. Все больше земельных участков отводится под захоронение, что приводит к деградации почв и потере ценных земель, которые могли бы использоваться для сельского хозяйства или других целей. Несмотря на усилия по внедрению раздельного сбора и переработки отходов, количество отходов, направляемых на захоронение, не уменьшается.

Исследование показало, что официальные управляемые полигоны оказывают негативное воздействие на окружающую среду, а неофициальные свалки представляют еще большую опасность из-за отсутствия систем контроля и управления.

Результаты, демонстрирующие химический состав фильтрата и свалочного массива, показывают перспективы рассмотрения этих мест с точки зрения наличия редких и ценных химических элементов и их соединений для разработки методов по их извлечению. Таким

образом, в будущем, как только будет найден экономически выгодный способ утилизации свалок, они будут рассматриваться как объекты природопользования, а не объекты накопленного вреда окружающей среде.

Проведенный анализ показал, что уровень квалификации отрасли по обращению с отходами может быть повышен за счет конструктивного использования данных дистанционного мониторинга.

Анализ свалок и полигонов на ЕТР показал характер их неравномерного распространения, который обусловлен плотностью населения, уровнем экономического развития регионов, эффективностью системы управления отходами. Созданные карты распределения свалок и полигонов на ЕТР предоставляют важную информацию для принятия управленческих решений и планирования мероприятий по улучшению экологической обстановки в регионах.

Методический подход к зонированию различных геосистем свалок (полигонов) в разных географических условиях, основанный на КГСЗ с использованием дистанционного мониторинга, является более эффективным, комплексным и безопасным для исследователя методов, чем существующие традиционные. Он позволяет экономически эффективно выявлять зоны различной степени экологической опасности для принятия превентивных управленческих решений и внедрить унифицированный подход к картографированию геосистем свалок (полигонов) и классификации их отдельных участков с выводом результатов в наиболее удобный контекст восприятия информации – картографический материал. Апробация на ключевых объектах исследования подтверждает его практическую применимость.

Как метод, КГСЗ, обладает потенциалом масштабирования и применения для мониторинга свалок на всей ЕТР, что делает ее ценным инструментом для управления отходами и охраны окружающей среды в масштабах страны. Результаты исследования могут быть использованы органами государственной власти, природоохранными организациями и предприятиями для оперативного контроля и мониторинга состояния свалок.

Концепция данного научного исследования дает возможность развить предлагаемую методологию зонирования. В частности, дооснащение БПЛА тепловизионными датчиками и газоанализаторами позволит более детально зонировать температурные аномалии и газогеохимическое состояние в зоне влияния свалок. Автоматизация процессов обработки данных ДЗЗ в сочетании с нейросетями позволят ускорить процесс вывода информации и охватить большее число исследуемых объектов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Титова А.Г. Анализ проблем твердых бытовых отходов в Тверской области / А.Г. Титова // География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов: материалы III Всеросс. науч.-практ. конф. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2015. – С. 41-42.

2. Титова А.Г. Анализ геоэкологического воздействия свалок твердых бытовых отходов на компоненты окружающей среды с использованием геоинформационных технологий / А.Г. Титова // География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов: материалы IV Всерос. научно-практ. конф. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. – С. 71-74.

3. Титова А.Г. К вопросу использования данных дистанционного зондирования при оценке негативного влияния объектов размещения отходов на окружающую среду / А.Г. Титова // Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы IX Всеросс. науч.-практ. конф. – Воронеж: Научная книга, 2017. – С. 76-79.

4. Титова А.Г. Средства и методы космического мониторинга свалок твердых коммунальных и промышленных отходов (на примере Тверской области) / А.Г. Титова // Современные подходы к изучению проблем в физической и социально-экономической географии: X междун. молодежная школа-конф. «Меридиан», 24-28 мая 2017 г. – М.: 11-й Формат, 2017. – С. 194-203.

5. Титова А.Г. Современные методы исследования влияния мест размещения твердых коммунальных отходов на прилегающие ландшафты / А.Г. Титова // Сборник материалов 11-ой

междун. молодежной школы-конф. «Меридиан»: От теории к практике в исследованиях природы и общества. – М.: ИГ РАН, 2018. – С. 193-196.

6. **Титова А.Г.** Оценка влияния полигона твердых коммунальных отходов на окружающую среду с использованием междисциплинарного подхода / А.Г Титова // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 2. – С. 53-58.

7. **Титова А.Г.** Зонирование контролируемых и неконтролируемых объектов захоронения коммунальных отходов на основе данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения / А.Г. Титова, А.А. Медведев // Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2021. – № 65(6). – С. 634-646.