

Оценка воздействия полигонов твёрдых коммунальных отходов на окружающую среду Краснодарского края

К. К. Размахнин[✉], Э. С. Торосян

Кубанский государственный университет, Российская Федерация
(350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149)

Аннотация. Цель – оценка воздействия полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО) на окружающую среду Краснодарского края для дальнейшего определения эффективных технологий обращения с отходами в рамках формирования региональной модели экономики замкнутого цикла.

Материалы и методы. В качестве методов исследования использованы: информационный анализ, ретроспективный анализ, оценка современного состояния научных разработок и применения инновационных технологий, методы анализа химического и морфологического состава ТКО, методы расчёта газовых эмиссий, синтез, наблюдение.

Результаты и обсуждение. Установлены основные загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу региона, а также доля выбросов парниковых газов по секторам экономики края. Определён усреднённый морфологический состав ТКО и компонентный состав биогаза полигонов накопления, установлено среднее содержание нефтепродуктов и средняя валовая концентрация тяжёлых металлов в грунте полигонов. Выявлено влияние уплотнения свалочного грунта на эффективность аэробных и анаэробных процессов в теле полигона. Произведён расчет эмиссий метана при различных морфологических составах твёрдых коммунальных отходов.

Выводы. Применение комплексного подхода, основанного на внедрении наилучших доступных технологий, позволяет обеспечить существенное снижение негативного воздействия полигонами ТКО на окружающую среду Краснодарского края, что, в значительной степени, способствует формированию модели региональной экономики замкнутого цикла в регионе.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы, воздействие, эмиссии, парниковые газы, нефтепродукты, тяжёлые металлы, наилучшие доступные технологии, экономика замкнутого цикла.

Источник финансирования: Статья подготовлена при финансовой поддержке РНФ и КНФ в рамках конкурса 2024 г. «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (региональный конкурс), проект 24-18-20049 «Региональная система экономики замкнутого цикла: институциональные модели и технологии развития (на примере Краснодарского края)».

Для цитирования: Размахнин К. К., Торосян Э. С. Оценка воздействия полигонов твердых коммунальных отходов на окружающую среду Краснодарского края // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 4, с. 146-152. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/146-152>

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных экологических проблем Краснодарского края является загрязнение атмосферы. В регионе находится ряд крупных предприятий, выбрасывающих значительное количество загрязняющих веществ в атмосферу: ООО «АЭМЗ», ООО «ЕвроХим-Белореченские минеральные удобрения», ОАО «Верхнебаканский цементный завод», ОАО «Новороссцемент», «Армавирский машиностроительный завод», ОАО «Славянский кирпич» и др. Кроме того, в крае расположены химические и нефтеперерабатывающие заводы, предприятия по производству минеральных удобрений, резиновых и полимерных изделий, а также сельскохозяйственные предприятия [1].

Более 90 % загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от стационарных источников в крае, составляют газообразные вещества. Изучение динамики выбросов данных веществ показало, что наибольшее

их количество представлено углекислым газом, входящим, наряду с метаном, в перечень парниковых газов. Доля выбросов парниковых газов по секторам экономики представлена на рисунке.

Анализ представленных данных показал, что наибольший объём выбросов в атмосферу парниковых газов приходится на предприятия топливно-энергетического комплекса, промышленность, строительство, сельское хозяйство и транспорт. Наименьший вклад в выбросы парниковых газов вносят полигоны накопления и предприятия по переработке твёрдых коммунальных отходов, на которых при распаде органической материи образуется так называемый «свалочный газ». Однако проблема ТКО в регионе в силу его географических и климатических особенностей (курортная и сельскохозяйственная специализации, высокая ценность земельных ресурсов и др.) является крайне актуальной [2, 3].





*Rис. Доля выбросов ПГ в Краснодарском крае по секторам экономики
[Fig. Share of greenhouse gas emissions in Krasnodar Region by economic sectors]*

При этом по расчётам неофициальных источников, объёмы образования ТКО в регионе достигают ежегодного значения более 18 млн. т, 97 % из которых размещается на свалках и полигонах [2, 3]. Согласно информации, представленной в Реестре объектов размещения отходов производства и потребления Краснодарского края, в регионе насчитывается 320 свалок ТКО и 13 объектов размещения промышленных отходов. Общая площадь объектов размещения твёрдых коммунальных отходов в регионе составляет 967 га [1, 4]. Вместе с тем, недостаточное количество и низкая производительность мусороперерабатывающих, мусоросортировочных и мусоросжигательных заводов также способствует переполнению существующих полигонов хранения отходов, что определяет тенденцию к значительному увеличению объёма выбросов парниковых газов.

Полигоны ТКО представляют опасность не только для атмосферного воздуха, но и для почвы на территориях их размещения за счёт возможности загрязнения компонентами, содержащимися в свалочном фильтрате, который образуется от влаги, выделяемой отходами, в процессе их аэробного и анаэробного разложения, а также от просачивания атмосферных осадков через тело полигона. В этой связи, возникает необходимость применения наилучших доступных технологий (НДТ), а также разработки перспективных технологических решений по предотвращению образования и накопле-

ния, переработке и утилизации твёрдых коммунальных отходов с целью снижения объёмов выбрасываемых полигонами парниковых газов. Для разработки и внедрения таких технологий требуется проведение предварительной оценки воздействия полигонов ТКО Краснодарского края на окружающую среду с определением основных характеристик отходов.

Цель исследования – оценка воздействия полигонов ТКО на окружающую среду Краснодарского края для дальнейшего определения эффективных технологий обращения с отходами в рамках формирования региональной модели экономики замкнутого цикла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве методов исследования были использованы: информационный анализ, ретроспективный анализ, оценка современного состояния научных разработок и применения инновационных технологий в области снижения негативного воздействия на окружающую среду и при формировании экономики замкнутого цикла, методы анализа химического и морфологического состава ТКО, методы расчёта газовых эмиссий, синтез, наблюдение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Образование парниковых газов на полигонах ТКО напрямую зависит от морфологического состава отходов. В процессе проведения исследований определен усреднённый состав ТКО Краснодарского края (табл. 1).

Таблица 1

Усреднённый морфологический состав ТКО в полигонах Краснодарского края [1, 2, 3, 5-9]
[Table 1. Average morphological composition of SMW in landfills of Krasnodar Region [1, 2, 3, 5-9]]

Компонент ТБО / Component of solid waste	Содержание, % / Content, %
бумага и картон	30-35
пищевые отходы	35-49
полимерные материалы	7
стекло	4-5
текстиль	4-5
цветные и чёрные металлы, древесина, кожа, резина, кости и пр.	2-3

Установлено, что грунты на территории полигонов ТКО региона в газогеохимической части относятся к категории «безопасные» и характеризуются относительно невысоким содержанием таких взрывоопасных газов, как метан (CH_4 0,01-0,1 %) и водород

($\text{H}_2 < 0,1$) [10]. При этом содержание CO_2 в грунте составляет 1,0-5,0 %, а кислорода (O_2) > 18,0. Компонентный состав биогаза полигонов региона является сложным, но схожим и, в основном, представлен соединениями, приведёнными в таблице 2.

Таблица 2

Компонентный состав биогаза полигонов ТКО Краснодарского края [1, 2, 3, 5-9]

[Table 2. Component composition of biogas from SMW landfills in Krasnodar Region]

Номер кода / Code number	Компонент биогаза полигона ТКО / Component of biogas from SMW landfill	$C_{\text{вес.}}, \%$ / $C_{\text{weight.}}, \%$	$C, \text{мг}/\text{м}^3 /$ $C, \text{mg}/\text{m}^3$
0410	Метан	49,148	620356
0380	Диоксид углерода	48,601	575754
0337	Оксид углерода	0,244	3124
301	Азота диоксид	0,170	1401
1325	Формальдегид	0,091	1194
0330	Ангидрид сернистый	0,068	877
0333	Сероводород	0,024	332
0303	Аммиак	0,499	6647
0621	Толуол	0,687	9012
0616	Ксиол	0,439	5493
0627	Этилбензол	0,097	1202

Основными компонентами биогаза (грунтового воздуха) полигонов, составляющего 30-58 % от общего объема грунта, являются метан и CO_2 , имеющие приблизительно равные объёмные содержания. Биогаз, находящийся в незаполненных фильтратом порах грунта полигонов ТКО, также характеризуется содержанием кислорода, водорода, газообразной воды и различных летучих органических соединений. При этом жизнеспособность аэробных грунтовых микрорганизмов в теле полигона зависит от доступности для них кислорода, который они поглощают, выделяя при этом CO_2 . Активное протекание данного процесса возможно только при недостаточном уплотнении свалочного грунта. Постоянное уплотнение грунта приводит к вытеснению из тела полигона кислорода, что вызывает развитие анаэробных бактерий, приводящих к интенсивному образованию таких газов как метан, сероводород и аммиак, являющихся источниками загрязнения атмосферного воздуха. В этой связи можно утверждать, что посредством управления уплотнением свалочного грунта можно регулировать выделение тех или иных газов от полигона, в том числе метана.

Организация эффективного управления газовыделением от тела полигона в комбинации с предварительной сортировкой отходов (с извлечением в отдельную фракцию пищевых и бумажных отходов) будет способствовать существенному снижению выделения метана и аммиака, что в значительной степени повысит экологичность объекта накопления ТКО. При этом появляется возможность использования обратного эффекта, когда метан рассматривается как сырьё для выработки энергии. В этом случае, при управлении газообразованием следует акцентировать действия на уплотнении грунта и интенсивном вытеснении кислорода из тела

полигона ТКО для обеспечения активного протекания анаэробных процессов, при которых будет получен биогаз со сложным компонентным составом, в котором содержание метана увеличится до 53-54 % (С вес.), а CO_2 снизится до 44-45 % (С вес.).

В составе твёрдых коммунальных отходов Краснодарского края преобладают такие компоненты как пищевые отходы (от 35 до 49 % масс.), а также бумага и картон (от 30 до 35 % масс.), которые при анаэробном разложении на полигоне образуют метан – парниковый газ. В процессе проведения исследований, количественный показатель выбросов метана определялся по утвержденным методикам, учитывающим при расчёте долю потенциально разлагаемых в составе ТКО органических веществ (пищевые отходы, бумага, текстиль, древесина) в общем объёме органических веществ. Расчет эмиссий метана осуществлялся для двух вариантов:

1. Исходя из принятого предварительного условия, что ТКО будут размещаться на полигоне без сортировки на мусоросортировочном заводе (МСЗ).

2. Исходя из принятого предварительного условия, что ТКО будут размещаться на полигоне после обязательной предварительной сортировки на МСЗ. Предполагается удаление из общей массы ТКО таких компонентов как: лом металлов, бумага и картон, ртутные лампы, люминесцентные и светодиодные лампы, отходы ртутных термометров, стеклянная, полиэтиленовая и полипропиленовая тара и упаковка (полимерные материалы), шины, резиновые камеры, электронные устройства и т.д. Данные расчёта выбросов метана представлены в таблице 3.

В процессе проведения исследований установлено, что эмиссии метана от пищевых отходов составляют более 50 % от общего объёма выбросов от ТКО. Со-

Таблица 3

Эмиссии метана при различных морфологических составах ТКО Краснодарского края, т/год [1, 2, 3, 5-9]
 [Table 3. Methane emissions for different morphological compositions of SMW in Krasnodar Region, t/year]

Методика расчета / Calculation method	ИТС 15-2016 / Information and technical reference book 15-2016	Территориальная схема обращения с отходами Краснодарского края / Territorial scheme of waste management in Krasnodar Region
Без предварительной сортировки		
Руководство по инвентаризации выбросов парниковых газов в России на региональном уровне	6211,38	4292,71
«Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации», утв. распоряжением Минприроды РФ от 16.04.2015 г. № 15-р	6157,72	4334,45
С предварительной сортировкой		
Руководство по инвентаризации выбросов парниковых газов в России на региональном уровне	4724,23	4295,68
«Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации», утв. распоряжением Минприроды РФ от 16.04.2015 г. № 15-р	4507,82	4407,33

ответственно, для существенного сокращения эмиссий метана от данного вида отходов рекомендуется применять раздельный сбор пищевых отходов на площадках приема с дальнейшей биотехнологической обработкой и получением биогаза (энергоресурс) и компостируемого остатка (органическое удобрение) [10].

Обеспечение эффективного управления и контроля образования метана в теле полигона твёрдых коммунальных отходов, обуславливает возможность использования данного газа в энергетических целях. Такой подход, определенно, способствует применению при обращении с отходами НДТ.

Помимо выбросов парниковых газов полигоны ТКО содержат в своём составе различные загрязняющие вещества: остатки нефтепродуктов, бенз(а)пирен, ионы тяжёлых металлов. Следует отметить, что с целью снижения накопления в свалочном грунте нефтепродуктов и бенз(а)пирена, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду районов расположения полигонов ТКО возможно применение НДТ и перспективных технологий.

Установлено, что среднее содержание нефтепродуктов в грунте полигонов свалочных отходов Крас-

нодарского края составляет 900-920 мг/кг (на глубине 0,0-0,2 м), соответственно, предельно-допустимый уровень остатков нефтепродуктов на данной глубине имеет значение 0,9. С увеличением глубины (15-17 м) степень загрязнения снижается до 7-14 мг/кг, соответственно до 0,005-0,02 ПДУ. Содержание бенз(а)пирена на глубине от 0,0 до 17 м является относительно постоянным и составляет 0,004 мг/кг. Данные значения, с точки зрения экологических нормативов, являются допустимыми, что обуславливает возможность эффективного обращения с ТКО, рекультивации объектов их накопления и дальнейшего использования занимаемых ими земель.

Известно, что ионы тяжёлых металлов могут содержаться в грунте полигонов ТКО в виде различных соединений (сульфатов, сульфидов, галогенидов, карбонатов и т.д.), имея при этом либо растворимую, либо нерастворимую форму [9, 10]. Средняя валовая концентрация тяжёлых металлов в грунте полигонов ТКО Краснодарского края представлена в таблице 4.

Из представленных в таблице 4 данных следует, что наиболее высокое содержание большинства тяжёлых металлов (Ni, Cu, Zn, Pb) отмечается в поверхностных слоях тела полигонов ТКО (0,0-0,2 м).

Таблица 4

Средняя валовая концентрация тяжелых металлов в грунте полигонов ТКО Краснодарского края, мг/кг
 [Table 4. Average gross concentration of heavy metals in the soil of SMW in Krasnodar Region, mg/kg]

№ п/п / serial №	Глубина тела полигона ТКО, м / Depth of the SMW landfill body, m	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg
1	0,0-0,2	23,12	41,22	44,90	4,57	0,05	0,004
2	4,0-6,0	6,01	3,08	21,37	3,48	0,05	0,004
3	8,0-12,0	5,75	3,01	20,04	1,99	0,05	0,004
4	14,0-20,0	5,24	2,95	19,56	1,38	0,05	0,004

На глубине свалочного полигона от 4,0 до 20,0 м количество тяжёлых металлов в значительной степени снижается. При этом содержание кадмия и ртути является относительно невысоким и неизменным по глубине. Установленные характеристики количественного содержания тяжёлых металлов в полигонах ТКО региона позволяют сделать вывод о том, что суммарная концентрация их химического загрязнения, согласно действующим нормам, оценивается как «чистая». В этой связи, грунт полигонов после предварительной сортировки, переработки и утилизации части составляющих его компонентов, следует подвергнуть рекультивации с повышением его плодородия до уровня «эффективное экономическое». Для решения данной проблемы рекомендуется применять существующие НДТ и разрабатываемые перспективные технологические решения, направленные на восстановление плодородия и структурного состояния субстрата полигонов ТКО [11].

По предварительным подсчетам вместимость всех полигонов ТКО на территории региона будет ограничена к 2027 г. При этом следует обеспечить эффективное функционирование полигонов согласно действующему законодательству РФ, в том числе, в соответствии со «Стратегией развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.» (утв. распоряжением Правительства РФ от 29.10.2021 г. № 3052-р) и «Стратегией социально-экономического развития Краснодарского края до 2030 года», целью которой является развитие устойчивой «зеленой» экономики, предполагающей, переход на принципы экономики замкнутого цикла с низким углеродным следом.

В этой связи следует отметить, что нормативно-правовая база России и Краснодарского края в сфере обращения с ТКО направлена на формирование региональной и общегосударственной модели экономики замкнутого цикла, предполагающей наличие законодательных актов, регламентирующих использование инновационных технологий. Правовое обеспечение формирования экономики замкнутого цикла предполагает действие законодательных норм, обеспечивающих рациональное и эффективное использование ресурсов и сырья, а также высокую экологичность процесса обращения с отходами. При этом одним из наиболее важных элементов механизма реализации законов в сфере обращения с ТКО является наличие эффективных технологических решений, обеспечивающих комплексность использования вторичного сырья, коллаборацию между предприятиями, а также вовлечение в оборот значительного количества потенциально полезных для экономики ресурсов. Применяемые для обеспечения снижения техногенной нагрузки полигонов ТКО на окружающую среду НДТ и перспективные технологии должны соответствовать технологическим решениям, отражённым в Информационно-технических справочниках НДТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для достижения поставленных государством целей в области обращения с ТКО, необходимо применение максимально эффективных и экономически целесообразных

технологий, что обеспечит существенное сокращение экологического ущерба окружающей среде. При этом формируемая экономика замкнутого цикла, основанная, в том числе, на вовлечении в оборот отходов, рассматривается, как важное средство снижения зависимости от востребованных видов сырья. Рассматривая сферу обращения с ТКО через призму устойчивости, следует учитывать её нормативно-правовое обеспечение и интеграцию принципов экономики замкнутого цикла в повышение эффективности технологий по обращению с отходами (с опорой на технологические инновации). Применение такого комплексного подхода, основанного на внедрении НДТ и перспективных технологий, обеспечит достижение существенного снижения негативного воздействия полигонами ТКО на окружающую среду Краснодарского края и будет способствовать формированию эффективной модели региональной экономики замкнутого цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2023 году». Краснодар: Министерство природных ресурсов Краснодарского края, 2024. – URL: [https://mpr.krasnodar.ru/ob-okrughayushchey-sredy/ezhegodnyy-doklad-o-sostoyani-ii-prirodopolzovaniya-i-okhrane-okrughayushchey-sredy-krasnodarskogo-kra/347368](https://mpr.krasnodar.ru/ob-okrughayushchey-srede/o-sostoyani-ii-okrughayushchey-sredy/ezhegodnyy-doklad-o-sostoyani-ii-prirodopolzovaniya-i-okhrane-okrughayushchey-sredy-krasnodarskogo-kra/347368) (дата обращения: 07.02.2025). – Текст: электронный.
2. Погорелов А. В., Липилин Д. А. К вопросу мониторинга и классификации свалок на территории Краснодарского края // Аграрная география в современном мире: сборник научных трудов, 2014, с. 263-268.
3. Погорелов А. В., Липилин Д. А. Мониторинг и классификации свалок на территории Краснодарского края // Известия Дагестанского педагогического университета: Естественные и точные науки, 2014, № 1, с. 263-268.
4. Дикий Е. А., Андреев С. Ю. Совершенствование управления обращением твердых бытовых отходов в Краснодарском крае // Молодой учёный, 2016, № 20 (124), с. 291-294.
5. Отчет по установлению морфологического состава ТКО. Краснодар: Министерство топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Краснодарского края, 2019. – URL: https://mintekgkh.krasnodar.ru/upload/iblock/8a2/tko_250319_03_1.pdf (дата обращения: 07.02.2025). – Текст: электронный.
6. Отчет по установлению насыпной плотности ТКО. Краснодар: Министерство топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Краснодарского края, 2019. – URL: https://mintekgkh.krasnodar.ru/upload/iblock/8a2/tko_250319_03_1.pdf (дата обращения: 07.02.2025). – Текст: электронный.
7. Паспорт регионального проекта «Формирование комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами на территории Краснодарского края». Краснодар, 2019. – URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=173606816&tld=ru&lang=ru&name=%D0%A2%D0%9A%D0%9E.pdf&text> (дата обращения: 07.02.2025). – Текст: электронный.
8. Верещак Е. В., Тихонова И. О. Оценка выбросов парниковых газов при размещении твердых коммунальных отходов на полигонах // Успехи в химии и химической технологии, 2021, т. XXXV, №12, с. 27-30.
9. Приказ от 19.12.2023 г. № 768 «Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами Краснодарского края и федеральной территории «Сириус»

(с изменениями на 01.11.2024 года) (в ред. Приказов Министерства ТЭК и ЖКХ Краснодарского края от 05.06.2024 № 444, от 01.11.2024 № 846).

10. Оценка воздействия объекта твердых коммунальных отходов на окружающую среду / Т. В. Олива, Ю. Б. Коновалова, Л. А. Манохина, Н. В. Андреева // Успехи современного естествознания, 2022, № 11, с. 66-72

11. Размахнин К. К. Принципы экономики замкнутого цикла в управлении отходами горнодобывающей промыш-

ленности в Краснодарском крае: технологические и институциональные аспекты // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2024, № 10, с. 166-180.

Конфликты интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 26.02.2025

Принята к публикации: 25.11.2025

UDC 504

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/146-152>

Assessment of the Impact of Municipal Solid Waste Landfills on the Environment of the Krasnodar Region

K. K. Razmakhnin , E. S. Torosyan

Kuban State University, Russian Federation
(149, Stavropolskaya Str., Krasnodar, 350040)

Abstract. The goal is to assess the impact of municipal solid waste landfills on the environment of the Krasnodar Region to further determine efficient waste management technologies within the framework of forming a regional closed-cycle economy model.

Materials and methods. The following research methods were used: information analysis, retrospective analysis, assessment of the current state of scientific developments and the application of innovative technologies, methods for analyzing the chemical and morphological composition of municipal solid waste, methods for calculating gas emissions, synthesis, and observation.

Results and discussion. The main pollutants emitted into the region's atmosphere, as well as the share of greenhouse gas emissions by sectors of the region's economy, have been identified. The average morphological composition of municipal solid waste and the component composition of biogas at the accumulation landfills were determined. The average content of petroleum products and the average gross concentration of heavy metals in the soil of the landfills were revealed. The effect of landfill soil compaction on the efficiency of aerobic and anaerobic processes in the landfill body was revealed. Methane emissions were calculated for various morphological compositions of municipal solid waste.

Conclusion. The use of an integrated approach based on the introduction of the best available technologies allows for a significant reduction in the negative impact of municipal solid wastes landfills on the environment of the Krasnodar Region, which largely contributes to the formation of a closed-cycle regional economy model in the region.

Key words: municipal solid wastes, impact, emissions, greenhouse gases, petroleum products, heavy metals, best available technologies, closed-cycle economy

Funding: The article was prepared with the financial support of the Russian Science Foundation and the KSF within the framework of the 2024 competition «Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by individual research groups» (regional competition), project 24-18-20049 «Regional system of a closed-loop economy: institutional models and development technologies (on the example of Krasnodar Region)»

For citation: Razmakhnin K. K., Torosyan E. S. Assessment of the Impact of Municipal Solid Waste Landfills on the Environment of the Krasnodar Region. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Серия: География. Геоэкология*, 2025, no. 4, pp. 146-152 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/146-152>

REFERENCES

1. Report «On the state of nature management and environmental protection in the Krasnodar Territory in 2023». Krasnodar: Ministry of Natural Resources of the Krasnodar Territory, 2024. – URL: <https://mpr.krasnodar.ru/ob-okruzhayushchey-srede/o-sostoyaniie-okruzhayushchey-sredy/ezhegodnyy-doklad-o-sostoyaniii-prirodopolzovaniya-i-okhrane-okruzhayushchey-sredy-krasnodarskogo-kraia/347368> (accessed 07.02.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
2. Pogorelov A. B., Lipilin D. A. K voprosu monitoringa i klassifikatsii svalok na territorii Krasnodarskogo kraya [On the issue

of monitoring and classification of landfills in the Krasnodar region]. *Agrarnaya geografiya v sovremenном mire*. Krasnodar: KubGU, 2014, pp. 263-268. (In Russ.)

3. Pogorelov A. B., Lipilin D. A. Monitoring i klassifikatsii svalok na territorii Krasnodarskogo kraya [Monitoring and classification of landfills in the Krasnodar region]. *Izvestiya Dagestanskogo pedagogicheskogo universiteta: Estestvennye i tochnye nauki*, 2014, no. 1, pp. 263-268. (In Russ.)

4. Dikiy E. A. Andreev S. Yu. Sovremenstvovanie upravleniya obrashcheniem tverdykh bytovykh otkhodov v Krasnodarskom krae [Improving solid waste management in Krasnodar

© Razmakhnin K. K., Torosyan E. S., 2025

 Konstantin K. Razmakhnin, e-mail: constantin-const@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

region]. *Molodoy uchenyy*, 2016, no. 20 (124), pp. 291-294. (In Russ.)

5. *Report on the establishment of the morphological composition of MSW*. Krasnodar: Ministry of Fuel and Energy Complex and Housing and Communal Services of the Krasnodar Territory, 2019. – URL: https://mintekgkh.krasnodar.ru/upload/iblock/8a2/tko_250319_03_1.pdf (accessed 07.02.2025). – Text: electronic. (In Russ.)

6. *Report on establishing the bulk density of solid municipal waste*. Krasnodar: Ministry of Fuel and Energy Complex and Housing and Communal Services of the Krasnodar Territory, 2019. – URL: https://mintekgkh.krasnodar.ru/upload/iblock/8a2/tko_250319_03_1.pdf (accessed 07.02.2025). – Text: electronic. (In Russ.)

7. *Passport of the regional project «Formation of an integrated system for handling municipal solid waste in the Krasnodar Territory»*. Krasnodar; 2019. – URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1736806816&tld=ru&lang=ru&name=%D0%A2%D0%9A%D0%9E.pdf&text> (accessed 07.02.2025). – Text: electronic. (In Russ.)

8. Vereshchak E. V., Tikhonova I. O. Otsenka vybrosov parnikovykh gazov pri razmeshchenii tverdykh kommunal'nykh otkhodov na poligonakh [Estimation of greenhouse gas emissions from the disposal of municipal solid waste in landfills]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2021, vol. XXXV, no. 12, pp. 27-30. (In Russ.)

9. *Prikaz ot 19.12.2023 g. № 768 «Ob utverzhdenii territorial'noy skhemy obrashcheniya s otkhodami Krasnodarskogo kraya*

i federal'noy territorii «Sirius» (s izmeneniyami na 01.11.2024 goda) (v red. Prikazov Ministerstva TEK i ZhKKh Krasnodarskogo kraya ot 05.06.2024 № 444, ot 01.11.2024 № 846) [Order of 19.12.2023 No. 768 «On approval of the territorial waste management scheme of the Krasnodar Region and the federal territory «Sirius» (as amended on 01.11.2024) (as amended by Orders of the Ministry of Fuel and Energy Complex and Housing and Public Utilities of the Krasnodar Region dated 05.06.2024 № 444, dated 01.11.2024 № 846)].

10. Otsenka vozdeystviya ob"ekta tverdykh communal'nykh otkhodov na okruzhayushchuyu sredu [Environmental Impact Assessment of a Solid Municipal Waste Facility] / T. V. Oliva, Yu. B. Konovalova, L. A. Manokhina, N. V. Andreeva. *Uspekhi sovremenennogo estestvoznaniya*, 2022, no. 11, pp. 66-72. (In Russ.)

11. Razmakhnin K. K. Printsipy ekonomiki zamknutogo tsikla v upravlenii otkhodami gornodobyyayushchey promyshlennosti v Krasnodarskom krae: tekhnologicheskie i institutsional'nye aspekty [Principles of Circular Economy in Mining Waste Management in Krasnodar Region: Technological and Institutional Aspects]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2024, no. 10, pp. 166-180. (In Russ.)

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 26.02.2025

Accepted: 25.11.2025

Размахнин Константин Константинович

Доктор технических наук, руководитель Читинского филиала Института горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, профессор кафедры техносферной безопасности Забайкальского государственного университета, г. Чита, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-2944-7642, e-mail: constantin-const@mail.ru

Торосян Эрик Сергеевич

Начальник отдела Интеллектуальной собственности Кубанского государственного университета, г. Краснодар, Российская Федерация, ORCID: 0009-0004-6094-1758, e-mail: torosyan_e@inbox.ru

Konstantin K. Razmakhnin

Doctor of Technical Sciences, Head of the Chita Branch of the Mining Institute named after N.A. Chinakal of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety of the Transbaikal State University, Chita, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-2944-7642, e-mail: constantin-const@mail.ru

Erik S. Torosyan

Head of the Intellectual Property Department, Kuban State University, Krasnodar, Russian Federation, ORCID: 0009-0004-6094-1758, e-mail: torosyan_e@inbox.ru