
УТИЛИЗАЦИЯ И ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

УДК504.064.2

ОЦЕНОЧНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ)

© 2024 г. В. И. Осипов¹, О. Н. Еремина¹*, И. В. Козлякова¹, Ю. А. Мамаев¹,
И. А. Кожевникова¹, Н. Г. Анисимова¹

¹Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, стр.2, Москва, 101000 Россия

*E-mail: o_eremina@mail.ru

Поступила в редакцию 18.10.2023 г.

После доработки 13.11.2023 г.

Принята к публикации 15.11.2023 г.

В статье рассмотрены научно-методические основы оценки инженерно-геологических условий платформенных территорий для выбора экологически безопасных мест размещения полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО). На примере Центрального Федерального округа России и его части — Владимирской области, показан алгоритм оценки пригодности геологической среды на основе комплексного учета геологического строения территории, литологического состава грунтовых массивов, гидрогеологических условий, проявления опасных экзогенных процессов. Проведено поэтапное типологическое районирование геологической среды: первый этап — мелкомасштабное, для предварительной оценки грунтовых условий крупных регионов на федеральном уровне; второй — среднемасштабное, для комплексной оценки территории по совокупности природных условий и предварительного выделения благоприятных областей на региональном уровне; третий — крупномасштабное, для выделения и сравнительной оценки конкретных участков возможного размещения площадок захоронения ТКО на основании балльной оценки факторов. Для каждого выделенного типа грунтовых условий определены дополнительные инженерные защитные мероприятия при обустройстве полигонов ТКО.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, инженерно-геологическое районирование, геологические условия, ТКО, опасные природные процессы, выбор участков

DOI: 10.31857/S0869780924010099, EDN: GNIEXG

ВВЕДЕНИЕ. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Экологически безопасное обращение с отходами и обустройство надежных полигонов ТКО в геологической среде относится к одной из важнейших задач практически во всех странах мира. Общепризнанная концептуальная основа безопасного захоронения отходов в геологической среде — создание “многобарьерной изоляции” [9, 10, 14]. Суть ее заключается в применении как природных (геологических), так и инженерных (искусственных) барьеров. При захоронении ТКО природные геологические барьеры играют важную роль, так как они изолируют отходы от биосферы на многие десятки лет до полного их разложения. От эффективности работы геологических барьеров зависит необходимость и масштаб применения инженерных барьеров, что существенно влияет на стоимость сооружения безопасных полигонов ТКО. Эффективность геологических барьеров для изоляции ТКО зависит от всего комплекса инженерно-геологических условий территории,

всесторонний адекватный учет которых требует разработки специальной методологической базы для поиска подходящих участков геологической среды.

Поиск благоприятных локаций для безопасного размещения ТКО — ответственная научная задача, при решении которой должен учитываться комплекс факторов, влияющих на выполнение экологических, социальных и экономических требований. Несмотря на то что проблема поиска площадок безопасного размещения ТКО остро стоит во всем мире, исследователи в своих публикациях нечасто обращаются к учету природных, в том числе геологических, условий для оценки территорий по пригодности для их размещения [5, 16, 17, 20–22]. При этом важнейшей процедурой при выборе площадок размещения объектов ТКО является районирование, заключающееся в разделении изучаемой территории на участки по признакам пригодности природных условий для размещения таких объектов [5, 11, 14, 15, 18]. Наличие карт районирования позволяет научно обоснованно принимать

управленческие решения по размещению объектов ТКО при планировании рационального использования территорий.

Районирование территорий для выбора площадок размещения объектов ТКО проводится на основе оценки изолирующих и других свойств геологической среды, создающих природные (геологические) барьеры, что способствует снижению загрязнения территории, распространению вредных образований в атмосфере, ландшафтах, подземных водах, почвах и горных породах.

Цель настоящих исследований — на примере территории Центрального Федерального округа (ЦФО) России и одной из ее административных частей (Владимирской области), разработать научно-методический подход к поэтапному районированию платформенных территорий по степени пригодности и безопасности размещения объектов ТКО на основе всестороннего изучения природных условий и их экспертной оценки с последующим отражением на картах районирования.

МЕЛКОМАСШТАБНОЕ (ОБЗОРНОЕ) РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЦФО ПО БЛАГОПРИЯТНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

На первом этапе работ районирование территорий по степени пригодности инженерно-геологических условий для размещения объектов ТКО производится в мелком масштабе (1:1000 000–1:2500 000) и базируется на изучении литолого-стратиграфических особенностей разреза на данной территории. Типизация выполняется на основе оценки защищенности геологической среды от загрязнения, поступающего с поверхности. Степень защищенности определяется наличием в геологическом разрезе слабопроницаемых толщ четвертичного и дочетвертичного возраста, глубиной их залегания, мощностью и выдержанностью по простиранию.

Методологические принципы ранжирования территорий разработаны авторами ранее для платформенных условий Европейской части РФ в пределах ЦФО [1, 7, 8, 19]. Для платформенных условий Русской плиты наличие мощных глинистых толщ в верхней части разреза — это основной критерий оценки благоприятности территории для размещения предприятий складирования и утилизации отходов, так как они препятствуют поступлению загрязнения с поверхности в нижележащие водоносные горизонты. По этим признакам выделено 5 типов районов, ранжированных от благоприятных до весьма неблагоприятных. Обоснование выделения данных категорий и их подробное описание приведено ранее [8, 19]. Здесь отметим лишь, что благоприятными для размещения объектов ТКО названы районы, где в верхней части

разреза залегают слабопроницаемые глинистые породы, а грунтовые воды находятся на глубине более 5 м. Для условий ЦФО водоупорные толщи чаще всего могут быть представлены двумя комплексами пород — четвертичными моренными суглинками, залегающими у поверхности, и юрскими глинами. В таких условиях четвертичный и мезозойский водоносные комплексы оказываются изолированными друг от друга, а геологическая среда защищена от поступающих с поверхности загрязнений. Эти районы могут считаться перспективными для дальнейшего изучения в более крупном масштабе на последующих этапах исследований.

Пропуская три промежуточные градации, остановимся на характеристике последней, весьма неблагоприятной категории территорий. Весьма неблагоприятными признаны территории, где в геологическом строении отмечаются только хорошо проницаемые и водоносные отложения. Геологическая среда здесь не защищена от поступающих с поверхности загрязнений. Для ЦФО России такие участки, как правило, приурочены к современным долинам рек, где аллювиальные отложения залегают непосредственно на карбонатных породах каменноугольной и девонской систем и районам развития палеоген-неогеновых песков и песчаников.

На основе разработанной типизации была построена обзорная схематическая карта инженерно-геологического районирования, дающая общее представление о благоприятности планируемых мест размещения предприятий утилизации отходов на территории ЦФО при оценке защищенности геологической среды от загрязнения [8, 19]. Эта карта позволяет выделить возможные ключевые участки для дальнейших изысканий и дает первоначальное представление об объемах необходимых дополнительных мероприятий по защите геологической среды от загрязнений при строительстве и эксплуатации таких технических систем, как полигоны ТБО. В генерализованном виде (количество выделенных категорий сокращено до трех: благоприятная, потенциально благоприятная, неблагоприятная), эта карта приведена на рис. 1.

СРЕДНЕМАСШТАБНОЕ (РЕГИОНАЛЬНОЕ) ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

На втором этапе исследований проводятся типизация и последующее районирование перспективных территорий в более крупном масштабе с учетом всего комплекса инженерно-геологических условий: геологического строения, гидрогеологических условий и возможного развития опасных экзогенных процессов и явлений. Рассмотрим такую типизацию на примере одной административной части ЦФО — Владимирской области

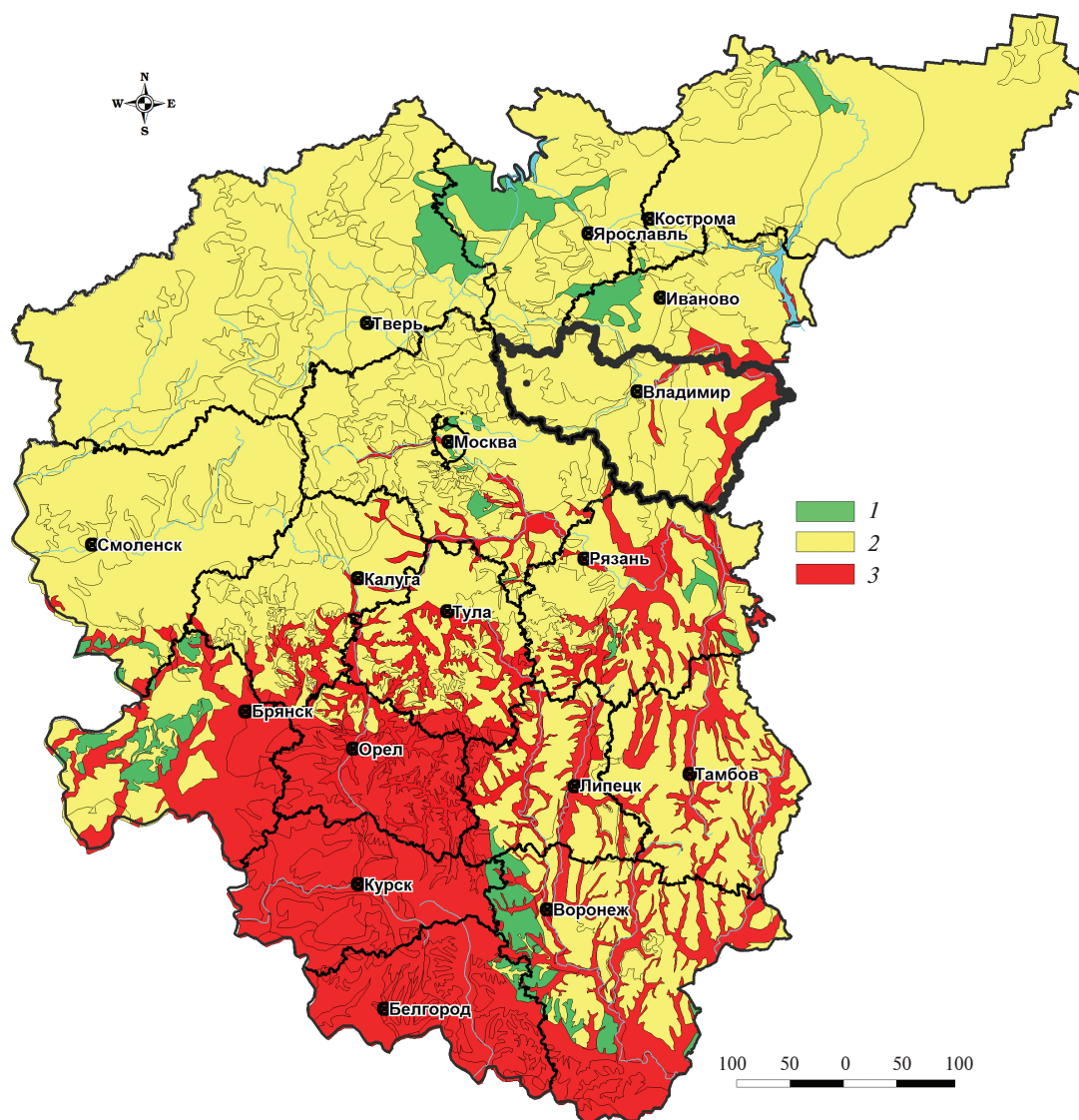


Рис. 1. Положение Владимирской обл. на генерализованной карте мелкомасштабного районирования ЦФО для целей размещения полигонов ТБО. Условные обозначения: 1 — благоприятные, 2 — условно благоприятные, 3 — неблагоприятные.

(см. рис. 1). Выбор данной административной единицы обусловлен несколькими причинами. С геологической точки зрения, территория этого региона, расположенная в пределах Восточно-Европейской платформы, характеризуется типичными для платформенных областей инженерно-геологическими условиями, здесь развит весь спектр природных процессов, свойственных равнинным территориям, что важно для решения задач настоящего исследования. С социально-экономической точки зрения, Владимирская обл. — один из наиболее густонаселенных и экономически развитых регионов ЦФО РФ, расположенный на пересечении транспортных коридоров федерального значения, связывающих столичный регион с восточными частями страны, что обуславливает ее огромное транспортно-логистическое значение. Кроме того,

здесь сосредоточено большое количество древних памятников истории, архитектуры и культуры, в том числе объектов культурного наследия ЮНЕСКО, а также особо охраняемых природных территорий и заказников. Эти обстоятельства предполагают особо тщательный подход к выбору мест расположения полигонов ТБО на основе комплексной оценки всего спектра условий.

С географической точки зрения, территория Владимирской области находится в центре Восточно-Европейской платформы и занимает площадь 29.084 тыс. кв. км [2]. Основная часть территории — слабо всхолмленная равнина с общим понижением от Клинско-Дмитровской гряды (абс. выс. до 271 м) на севере через Владимирское Ополье (абс. выс. до 236 м), далее на юг к Мещёрской низменности (преобладающая абс. выс. 120 м) и на

восток через Окско-Цнинский вал (абс. выс. до 184 м) и Гороховецкий отрог (верхняя точка 191 м) к Балахнинской низменности (около 90 м) и устью р. Клязьма (67 м). Главные реки области: Клязьма и Ока. Кроме них по территории протекают сотни больших и малых рек, их количество вместе с ручьями доходит до 560. Реки имеют равнинный характер течения, широкие долины и меандрирующие русла. Насчитывается около 300 озер, многие из которых имеют ледниковое, пойменное и старичное в долинах Оки и Клязьмы) происхождение, на востоке встречаются карстовые озера.

В геологическом отношении Владимирская обл. входит в пределы восточной части Московской синеклизы. В восточной части области субмеридионально протягивается Окско-Цнинский вал, проявленный в каменноугольных отложениях платформенного чехла, представленных преимущественно карбонатными породами. На территории Владимирской обл. повсеместно распространены четвертичные ледниковые, водно-ледниковые, эолово-делювиальные, озерно-речные и болотные отложения, перекрывающие более древние каменноугольные, пермские, триасовые, юрские, меловые и палеоген-неогеновые отложения платформенного чехла.

Подземные воды на значительных участках Мещерской низменности, в поймах крупных рек залегают на глубинах < 2 м от поверхности. Обширные территории, особенно на юге и юго-востоке области подтоплены и заболочены. Основные экзогенные геологические процессы, которые необходимо учитывать при выборе мест захоронения ТКО: подтопление, заболачивание, затопление пойм рек в половодья, русловая и пойменная эрозия, оврагообразование, оползни на берегах рек, переработка берегов, сульфатный и карбонатный карст [2, 6].

Оценка грунтовых условий Владимирской обл. в целях размещения объектов ТКО аналогична методике мелкомасштабного картирования и выполнялась на основе типизации грунтовых толщ в зависимости от наличия в разрезе до глубины 50 м дочетвертичных и четвертичных комплексов пород пониженной проницаемости, способных защитить геологическую среду от загрязнения, поступающего с поверхности. Типы грунтовых массивов для заданных целей районирования получены из сочетания выделенных комплексов дочетвертичных и четвертичных отложений (табл. 1).

Среди дочетвертичных отложений выделены: слабопроницаемые глинистые толщи юрского возраста; алевролиты-аргиллитовые загипсованные породы и гипсы пермского и триасового возраста; хорошо проницаемые пески и песчаники неогенового, палеогенового и мелового возраста, а также терригенно-карбонатные породы девона и карбона. При подразделении четвертичных толщ учитывалось наличие и положение в разрезе слабопроницаемых суглинков различных генетических типов. Основной слабопроницаемый комплекс пород среди четвертичных образований представлен моренными суглинками. Выделены территории, где эти суглинки залегают с поверхности и под аллювиальными и водно-ледниковыми песками, а также территории, где покровные суглинки и супеси, местами слабоводоносные или неравномерно обводненные, имеют значительное распространение и мощность.

В соответствии с этой типизацией составлена карта-схема районирования области по благоприятности размещения полигонов ТКО (рис. 2). На схематической карте видно распределение благоприятных, условно благоприятных и неблагоприятных районов по геологическому строению на территории Владимирской обл.

Таблица 1. Типизация грунтовых толщ, встречающихся на территории Владимирской обл., по благоприятности для размещения ТКО

Дочетвертичные отложения \ Четвертичные отложения		Пески, переслаивание песков и моренных суглинков	Пески	Моренные суглинки, переслаивание песков и суглинков
		1	2	3
I	Преимущественно пески и песчаники (К, Рg, N) водоносные	Неблагоприятные (I-1)	Неблагоприятные (I-2)	Условно благоприятные (I-3)
II	Преимущественно глины (J) водоупорные	Благоприятные (II-1)	Не встречаются	Не встречаются
III	Аргиллиты, алевролиты, песчаники, местами загипсованные, гипс (P-T) слабоводоносные и неравномерно обводненные	Благоприятные (III-1)	Условно благоприятные (III-2)	Не встречаются
IV	Известняки, доломиты с прослоями глин (D-C) водоносные	Условно благоприятные (IV-1)	Неблагоприятные (IV-2)	Условно благоприятные (IV-3)

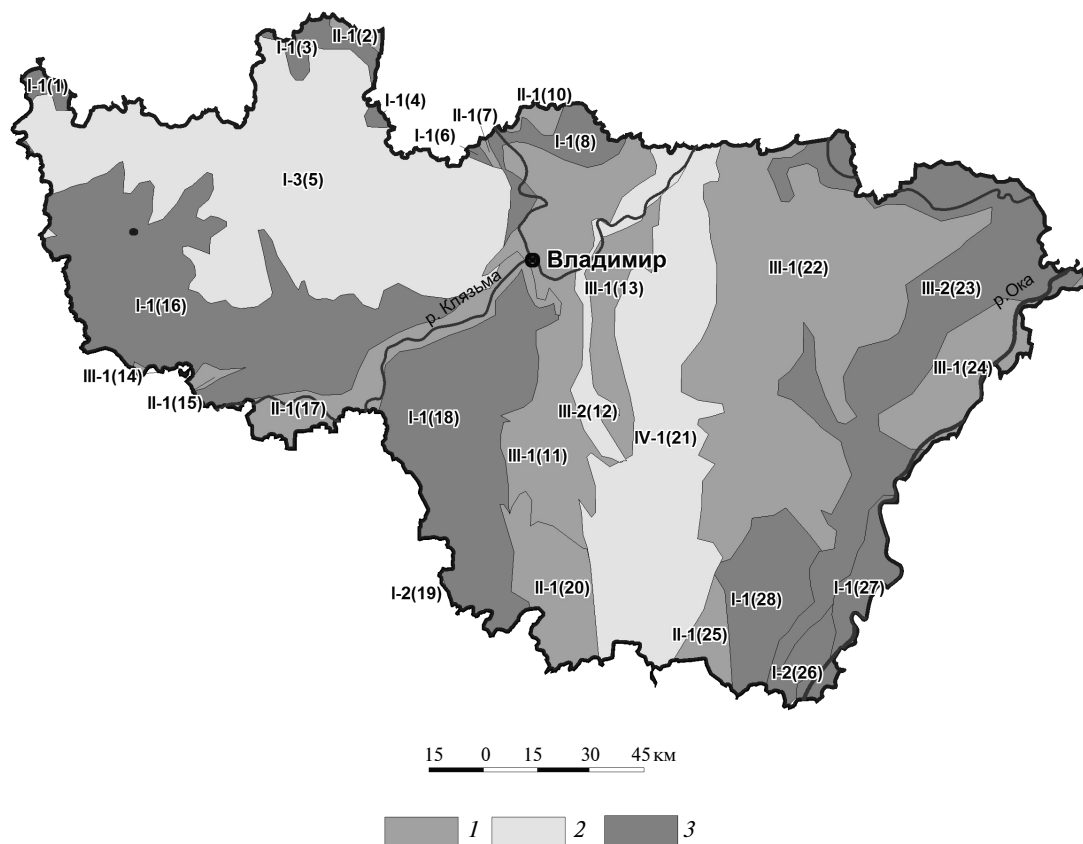


Рис. 2. Карта-схема благоприятности территории Владимирской обл. для размещения ТКО по грунтовым условиям. Условные обозначения: 1 — благоприятные, 2 — условно благоприятные, 3 — неблагоприятные. Цифры в скобках — номера районов.

К условно благоприятным отнесены территории, — в пределах которых достаточно мощные толщи слабопроницаемых пород встречаются только среди четвертичных или только среди дочетвертичных комплексов, представленных хорошо проницаемыми и водоносными песками и песчаниками мелового, палеогенового и неогенового возраста; они широко распространены на северо-западе области в пределах Владимирского Опожья;

— сложенные слабоводоносными и неравномерно обводненными алевролитами, аргиллитами и песчаниками пермского и триасового возраста, перекрытые четвертичными песками; этот тип геологического строения встречен в долине р. Ока и некоторых других рек.

Грунтовые условия, в пределах которых четвертичные суглинки и суглинки с прослоями песков залегают непосредственно на девонских и каменноугольных известняках, выделены в пределах Окско-Цнинского вала в центральной части области.

На этом же этапе районирования для более детального анализа природных условий был проведен укрупненный анализ территории области по

основным геоморфологическим, гидрогеологическим и геодинамическим признакам. Было выделено 28 районов, каждый из которых оценен по трем факторам: грунтовые условия, уровень залегания первого от поверхности горизонта подземных вод и опасные природные процессы.

Анализ первого фактора — геологического строения массива грунта, позволяет оценить изолирующие свойства пород и их способность играть роль природных геологических барьеров, препятствующих распространению загрязнений. На основе второго фактора (гидрогеологические условия) оценивается объективная возможность контакта предполагаемого проектируемого объекта ТКО с подземными водами. Третий фактор отражает вероятность нарушения экологической безопасности объектов ТКО в результате развития опасных природных процессов; в рассматриваемых платформенных условиях к ним относятся: затопление, подтопление, заболачивание, эрозия, оврагообразование, карстово-суффозионные процессы и оползни. Оценка вклада указанных факторов в итоговый показатель пригодности инженерно-геологических массивов для размещения объектов ТКО производится на балльной основе. Для каждого фактора

Таблица 2. Шкала баллов для оценки грунтовых и гидрогеологических условий, а также природных процессов на участках размещения объектов ТКО при региональном (среднемасштабном) районировании

Факторы районирования		Баллы
Категория благоприятности грунтовых условий	Благоприятные	90
	Условно благоприятные	60
	Неблагоприятные	20
Глубина залегания УПВ	Отсутствие подземных вод в зоне объекта ТКО (> 10 м)	+10
	УПВ в зоне объекта ТКО, но ниже основного геологического барьера (> 5 м)	0
	УПВ выше основного геологического барьера (< 5 м)	–10
Природный процесс	Затопление поймы паводковыми водами	–30
	Подтопление, заболачивание	–30
	Русловая и пойменная эрозия, оврагообразование	–10
	Склоновые процессы	–10
	Карст	–5

составлена шкала баллов, позволяющая учитывать его значимость (вес) при расчете критерия оценки. Балльная шкала разработана на основе экспертных оценок составителей карты (табл. 2–5).

Строение грунтового массива представляет собой решающий фактор обеспечения безопасности объекта ТКО за счет формирования геологического барьера, препятствующего распространению загрязнения. Оценивая максимальную интегральную величину защитных свойств геологической среды в 100 баллов, примем условно, что вклад фактора геологического строения в эту величину может достигать 90 баллов (табл. 2).

Гидрогеологические условия, обуславливающие возможный контакт объекта ТКО с грунтовыми водами и распространение загрязняющих веществ в геологической среде, для задач, решаемых в настоящем исследовании, были формализованы по глубине залегания грунтовых вод. В зависимости от наличия водоносного горизонта в среде, вмещающей объект ТКО, и расположения УПВ (выше или ниже главного геологического барьера — толщи глинистых пород, являющейся основанием полигона), выделены 3 категории. Каждой категории присвоены соответствующие понижающие или повышающие баллы по отношению к баллам, присвоенным данному участку по грунтовым условиям (см. табл. 2).

Исходя из геоморфологического положения участков, оценивалась возможность проявления: заболачивания, подтопления, затопления поймы паводковыми водами, русловой и пойменной эрозии, овраго- и оползнеобразования. С учетом литологического состава пород и строения геологического разреза, а также имеющихся сведений о наличии карстово-суффозионных провалов, оценивалась возможность развития сульфатного и карбонатного карста [2, 4, 6]. Все эти позиции также выражались в понижающих баллах, присваиваемых участку (см. табл. 2). Значения баллов назначались на основании общих сведений о площади, подверженной развитию того или иного процесса, его интенсивности

(разрушительной силы) и повторяемости. В случае развития на одном участке нескольких опасных процессов баллы либо суммировались, либо участку присваивался балл по наиболее опасному процессу, исходя из общих экспертных оценок.

При расчете суммарного балла и назначении итоговой категории пригодности участка принималось во внимание, что такие процессы, как подтопление и заболачивание территории, также учтены при расчете гидрогеологического фактора (глубина залегания УПВ < 5 м), а области возможного развития карстово-суффозионных процессов приурочены к распространению карбонатных и сульфатных массивов, которые учтены при расчете фактора благоприятности по грунтовым условиям. Отрицательные значения интегрального балла, как не имеющие физического смысла, приравнялись к нулю. Приняты следующие условные интервалы суммарных баллов, определяющие итоговую оценку пригодности территории для размещения ТКО по комплексу природных условий (табл. 3).

На основании разработанной методики произведена оценка пригодности природных условий Владимирской обл. (табл. 4). Выделенные районы нанесены на итоговую карту районирования (рис. 3).

Из анализа построенной схематической карты видно, что идеальные условия для размещения отходов (100 баллов) отсутствуют в изученном

Таблица 3. Шкала суммарных баллов для оценки пригодности территорий для размещения объектов ТКО при региональном (среднемасштабном) районировании

Категория природных условий	Интервал суммарных баллов
Пригодные (П)	80–100
Условно пригодные (УП)	50–80
Условно непригодные (УН)	20–50
Непригодные (Н)	< 20

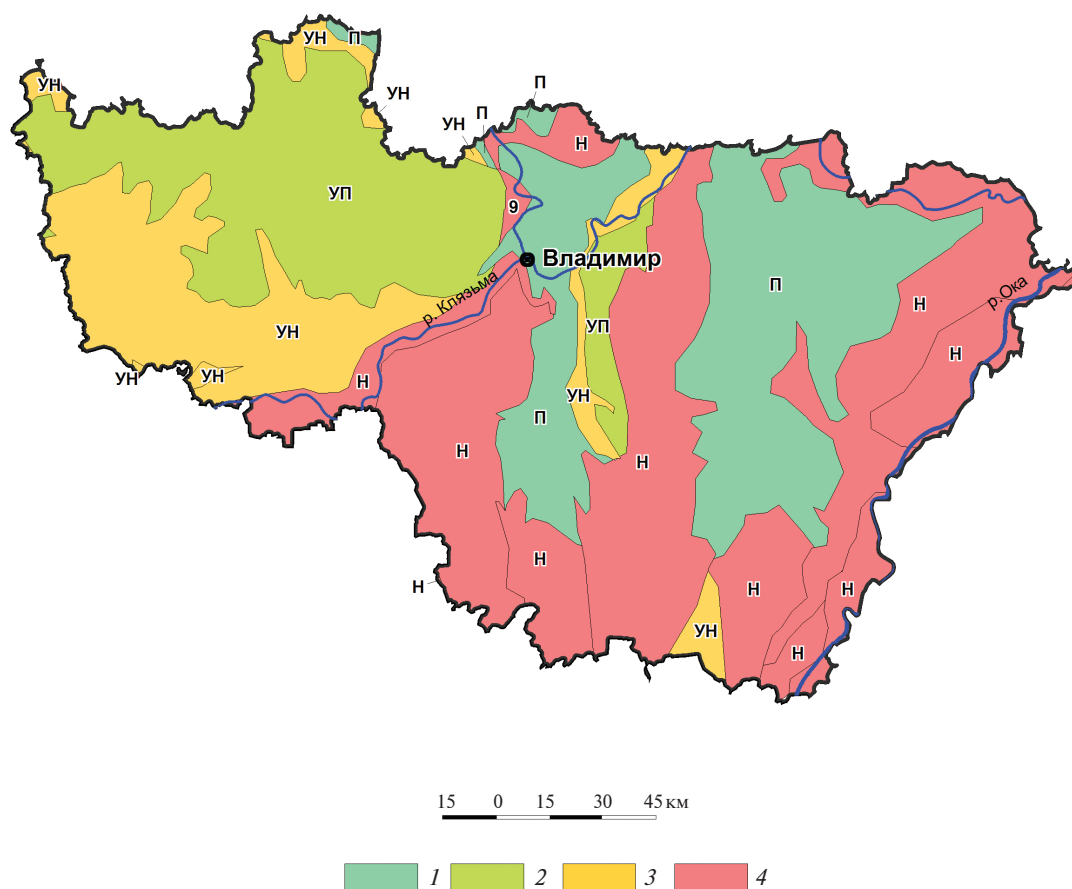


Рис. 3. Карта-схема пригодности природных условий Владимирской обл. для размещения объектов ТКО. 1 — пригодные; 2 — условно пригодные; 3 — условно непригодные; 4 — непригодные. Буквенные индексы на карте соответствуют обозначениям комплексного индекса пригодности территорий в табл. 4.

регионе. При этом почти половина территории области относится к категории непригодных и условно непригодных условий для размещения ТКО. Непригодные области в основном приурочены к заболоченным и подтопленным местам с высоким положением УПВ, пойменным частям долин Клязьмы, Оки и их притоков. Обращает внимание, что наличие в разрезе глинистых водоупоров хоть и делает участок благоприятным с точки зрения строения геологического разреза, однако, при этом зачастую способствует развитию заболачивания и подтопления, что существенно понижает общую категорию пригодности территории. Субмеридиональная полоса Окско-Цнинского вала, к которой приурочено неглубокое залегание карстующихся карбонатных пород, также попадает в непригодную категорию для размещения объектов ТКО. Наиболее пригодными по природным условиям представляются равнинные увалистые плато Владимирского ополя на северо-востоке и в центральной части области, характеризующиеся присутствием моренных суглинков в литологическом разрезе, глубоким положением УПВ и незначительным развитием опасных природных процессов.

КРУПНОМАСШТАБНАЯ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАССИВОВ ПО СТЕПЕНИ ИХ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ТКО

На третьем этапе картографических работ в границах пригодных по комплексу природных условий районов в более крупном масштабе (1:25000—1:10000) выделяются ключевые инженерно-геологические участки (массивы), и проводится их более детальное сравнение по вышеперечисленным трем основным факторам: литологическому составу пород и их свойствам, гидрогеологическим условиям и развитию опасных природных процессов. В отличие от предыдущего этапа, на этапе детальных исследований балльная оценка дается не только по наличию или отсутствию фактора, но и по атрибутивным характеристикам данного фактора. Так, должны быть изучены и оценены в баллах не только состав, но и свойства пород, слагающих вмещающий массив будущего полигона ТКО, не только глубина УПВ, но и химический состав подземных вод, а проявление опасных экзогенных процессов

Таблица 4. Комплексная оценка пригодности территорий по природным условиям для размещения ТКО

№ района	Индекс по грунтовым условиям	Категория благоприятности по грунтовым условиям	Балл по грунтовым условиям	Глубина залегания УПВ, м	Балл по УПВ	Опасные процессы	Балл по процессам	Общий балл	Общая категория пригодности
1	I-1	Н	30	> 10	+10	Нет	0	40	УН
2	III-1	Б	90	> 5	0	Русловая и пойменная эрозия	-10	80	П
3	I-1	Н	30	> 10	+10	Нет	0	40	УН
4	I-1	Н	30	> 10	+10	Нет	0	40	УН
5	I-3	УБ	60	> 10	+10	Русловая и пойменная эрозия, локаль- но оврагообразование	-20	50	УП
6	I-1	Н	30	>10	+10	Нет	0	40	УН
7	III-1	Б	60	> 5	0	Русловая и пойменная эрозия	-10	50	УП
8	I-1	Н	30	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия	-10	10	Н
9	I-1	Н	30	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия	-10	10	Н
10	III-1	Б	90	> 5	0	Нет	0	90	П
11	IV-1	Б	90	>10	+10	Эрозия, локально оврагообразование	-20	80	П
12	IV-2	УБ	60	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия	-10	40	УН
13	IV-1	Б	90	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия	-10	70	УП
14	III-1	Б	90	< 5	-10	Затопление, заболачивание	-40	40	УН
15	III-1	Б	90	< 5	-10	Затопление, заболачивание	-40	40	УН
16	I-1	Н	30	> 5	0	Русловая и пойменная эрозия, возможно оврагообразование	-20	10	Н
17	III-1	Б	90	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия, затопление, заболачивание	-70	10	Н
18	I-1	Н	30	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия, местами заболачивание	-40	0	Н
19	I-2	Н	30	< 5	-10	Затопление, заболачивание	-40	0	Н
20	III-1	Б	90	< 5	-10	Затопление, заболачивание	-40	40	УН
21	V-1	УБ	60	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия, местами заболачивание	-40	10	Н
22	IV-1	Б	90	> 10	+10	Эрозия, локально оврагообразование;	-20	80	П
23	IV-2	УБ	60	< 5	-10	Затопление поймы, заболачивание, русловая и пойменная эрозия	-70	0	Н
24	IV-1	Б	90	< 5	-10	Затопление поймы, заболачивание, русловая и пойменная эрозия	-70	20	Н
25	III-1	Б	90	> 5	0	Русловая и пойменная эрозия, возможно оврагообразование	-20	70	УП
26	I-2	Н	30	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия, местами заболачивание	-30	0	Н
27	I-1	Н	30	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия	-10	10	Н
28	I-1	Н	30	< 5	-10	Русловая и пойменная эрозия, местами заболачивание	-20	10	Н

Примечание. Индексы благоприятности территории по грунтовым условиям: Б — благоприятные; УБ — условно благоприятные; Н — неблагоприятные; комплексный индекс пригодности территории: П — пригодные; УП — условно пригодные; УН — условно непригодные; Н — непригодные

Таблица 5. Шкала баллов по оценке изолирующих свойств различных литологических типов пород (по [11])

Критерий Тип пород	Фильтрационная способность, K_f , м/сут	Баллы	Удерживающая способность, мг/кг	Баллы
Глины и тяжелые суглинки	$< 5 \times 10^{-5}$	50	> 1000	20
Легкие и средние суглинки	$5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-3}$	20	500–1000	10
Супеси	$5 \times 10^{-3} - 0.5$	10	100–500	2
Пески и гравий	> 0.5	0	< 100	0

Таблица 6. Шкала баллов для оценки опасных природных процессов на площадке (по [11])

Наименование процесса	Балльная оценка	Повторяемость (за 100 лет)	Баллы
Затопление	–100	0.10	–10
Подтопление	–20	0.20	–4
Эрозия	–10	0.10	–1
Склоновые процессы	–10	0.05	–0.5
Карст	–5	0.01	–0.05

должно быть конкретизировано с учетом их интенсивности и повторяемости. Подробно методика балльной оценки инженерно-геологических массивов на этом этапе, разработанная В. И. Осиповым, И. В. Козляковой и Ю. А. Мамаевым, описана ранее [11].

При балльной оценке изолирующих свойств пород на этом этапе предлагается учитывать такие характеристики, как коэффициент фильтрации (K_f , м/сут) и удерживающая (поглощающая) способность (мг/г), существенно варьирующие в зависимости от литологического состава пород [12].

Согласно предлагаемой методике, интегральная оценка изолирующей (фильтрационной и удерживающей) способности изучаемого массива осуществляется на основе сложения полученных баллов для каждого литологического типа пород, умноженных на его относительную мощность в разрезе (в долях единицы) [11].

Гидрогеологические условия аналогично предыдущему этапу оцениваются исходя из наличия водоносного горизонта в среде, вмещающей объект ТКО, и взаимодействия подземных вод с ним (см. табл. 3). При дальнейшем совершенствовании методики представляется целесообразным учитывать также химические параметры подземных вод,

Таблица 7. Типизация грунтовых массивов по степени пригодности для размещения объектов ТКО

Критерии Степень пригодности	Сумма баллов	Строение вмещающего грунтового массива	Гидрогеологические условия	Опасные процессы	Дополнительные инженерные мероприятия
Пригодные	> 80	Вмещающий массив сложен целиком (либо в основании и кровле объекта) слабопроницаемыми глинистыми грунтами. Геологическая среда защищена от загрязнения, поступающего с поверхности	Отсутствует контакт объекта ТКО с подземными водами	Исключено развитие опасных природных процессов	Возможно строительство объектов ТКО с минимальными финансовыми затратами, соблюдением требований экологической безопасности и постоянного экологического мониторинга
Условно пригодные	40–80	Вмещающий массив сложен горными породами, но в основании объекта присутствует толща глини или тяжелых суглинков, которая может служить надежным геологическим барьером	Подземные воды, залегающие в пределах зоны влияния объекта ТКО, находятся ниже его основания. Нельзя исключать контакта с подземными водами при подъеме их уровня	Развитие опасных экзогенных природных процессов не исключено, но их проявления отсутствуют	Необходимо обустройство природно-техногенного барьера с применением методов технической мелиорации по периметру объекта ТКО
Условно непригодные	10–40	Вмещающий массив сложен проницаемыми обводненными породами (супеси, пески); в основании объекта ТКО залегают толщи легких и средних суглинков	Сооружение находится в зоне контакта с подземными водами	Возможно развитие опасных экзогенных природных процессов, есть их единичные проявления	Инженерная подготовка участка для создания объектов обращения с ТКО требует значительных финансовых средств и может проводиться только в исключительных случаях
Непригодные	< 10	Вмещающий массив целиком сложен толщей проницаемых пород	Обводненные и затопляемые паводковыми водами территории	Интенсивное развитие карстовых, суффозионных, оползневых и других опасных процессов	Инженерная подготовка участков требует огромных финансовых затрат на создание искусственных и природно-техногенных барьеров

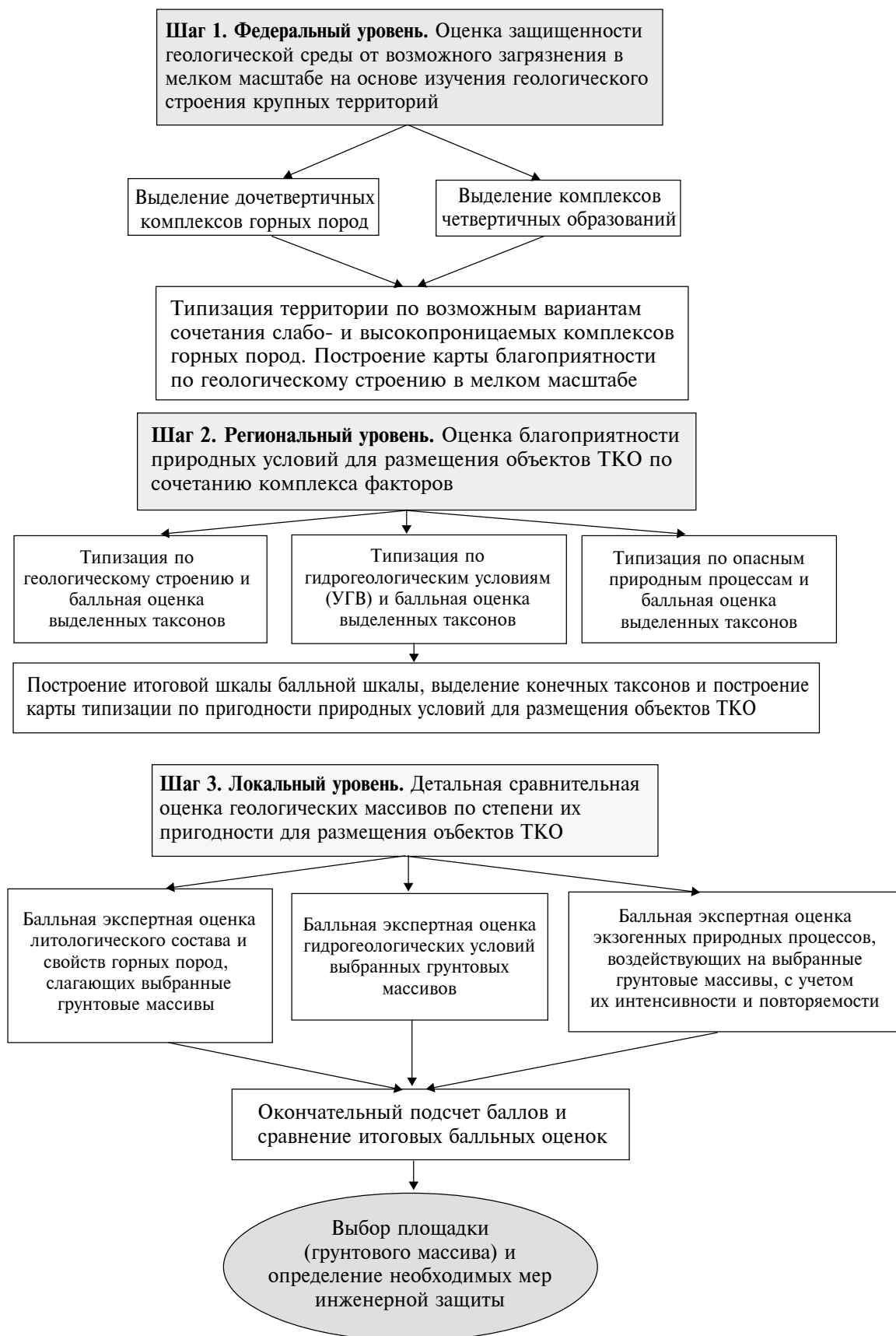


Рис. 4. Блок-схема поэтапной оценки пригодности геологической среды для размещения объектов ТКО.

которые могут оказать влияние как на проявление ряда экзогенных процессов, так и на устойчивость инженерных конструкций [3, 10, 13].

На завершающем этапе крупномасштабной сравнительной оценки массивов выбранных площадок учет опасных природных процессов проводится более детально. Понижающие (отрицательные) баллы присваиваются каждому опасному экзогенному процессу в зависимости от его разрушительной способности. Принимая максимальную отрицательную величину неблагоприятного процесса, равной 100 баллов, на основании экспертных оценок имеем следующие значения: максимальная опасность создается при затоплении в результате наводнений (–100 баллов), далее идут подтопление (–20), эрозия временными и постоянными водотоками (–10), склоновые процессы: оползни, осыпи, солифлюкция и др. (–10), карст (–5). Величина этого показателя зависит не только от разрушительной силы, но и от повторяемости опасного явления на данном участке за весь период существования объекта до полного разложения свалочного тела (100 лет), выраженной в долях единицы. Вклад каждого процесса находится как произведение его опасности (баллы) и повторяемости (дол. ед). В том случае, когда на площадке возможно развитие нескольких опасных процессов находится интегральная величина баллов от всех процессов, что дает возможность получить общую оценку величины рассматриваемого критерия (табл. 6) [11].

В результате анализа всех факторов находится суммарная величина набранных баллов. Получаемый численный показатель является основным критерием подразделения массивов пород на оцениваемых площадках по условиям размещения объектов ТКО (табл. 7). Суммарная величина баллов берется за основу подразделения территории по условиям размещения отходов. Для этого все инженерно-геологические массивы ранжируются по величине баллов на 4 типа, аналогично рассмотренным на предыдущих этапах: пригодные, условно пригодные, условно непригодные и непригодные. Для каждого типа массивов дается диапазон баллов, характеризующий степень его пригодности (см. табл. 7), и делается заключение о возможности сооружения объекта ТКО на данном участке, необходимости обустройства природно-техногенных барьеров с применением методов технической мелиорации по периметру сооружения и дополнительных защитных инженерных мер.

На основе данной типизации возможно построение крупномасштабной карты районирования по условиям пригодности территорий для размещения отходов. Такие карты имеют статус оценочных и предназначены для проектирования конкретных объектов в пределах относительно небольших по площади территорий (отдельные

административные районы или муниципальные образования), составляются в масштабах 1:25000–1:10000.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье изложена методика трехступенчатой оценки геологической среды по ее пригодности для размещения объектов ТКО, которая в наглядной форме может быть представлена в виде следующей блок-схемы (рис. 4).

Предлагаемая методика поэтапной оценки геологической среды по степени ее пригодности для размещения объектов ТКО на основе специального инженерно-геологического районирования представляется важным инструментом учета природных условий для размещения объектов ТКО. Ее применение в сочетании с оценкой социально-экономических параметров на стадии планирования позволяет принять решения по ряду вопросов, а именно:

- научно обосновать выбор участков размещения отходов с учетом природных условий, социально-экологической безопасности и экономической целесообразности;
- осуществлять инвентаризацию мест размещения существующих и ранее сформированных полигонов и свалок ТКО с целью решения вопросов их закрытия, перезахоронения и реабилитации;
- принимать предварительные решения о конструкции будущих объектов обращения с ТКО, объему и содержанию работ по их инженерной подготовке и защите;
- выявлять логистические проблемы, включающие доступность объекта, его оптимальное размещение относительно мест накопления ТКО и расположения перерабатывающих предприятий и другие.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГЭ РАН по теме НИР № г.р. 122022400104-2 “Техногенез и природа: геоэкологические проблемы” и частично в рамках проекта РНФ 22-17-00045 “Научное обоснование безопасного захоронения ТКО в геологической среде”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурова В. Н., Козлякова И. В., Еремина О. Н. Проблемы размещения твердых коммунальных отходов и оценка риска на примере Центрального Федерального округа России // Геоэкология. 2022. № 6. С. 3–16
2. Геология СССР. Т. 4. Центр Европейской части СССР. Геологическое описание. М.: Недра, 1971. 742 с.
3. Гольдберг В. М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 248 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаб 1:1000000. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.

5. Заиканов В. Г., Заиканова И. Н., Булдакова Е. В. Геоэкологический и ландшафтно-экологический анализ территорий существующих свалок ТБО Московской области // Сергеевские чтения: Вып. 20. Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии. М.: РУДН, 2018. С. 65–73.
6. Инженерная геология СССР. Т. 1. Русская платформа / Под ред. И. С. Комарова. М.: Изд-во МГУ, 1978. 527 с.
7. Козлякова И. В., Кожевникова И. А., Анисимова Н. Г., Иванов П. В. Инженерно-геологическое районирование Центрального федерального округа России по условиям размещения предприятий и полигонов утилизации твердых бытовых отходов // Сергеевские чтения. Вып. 20: Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии. М.: РУДН, 2018. С. 74–76.
8. Козлякова И. В., Кожевникова И. А., Еремина О. Н., Анисимова Н. Г. Методологические принципы оценки геологической среды для размещения объектов обращения с ТКО // Геоэкология. 2021. № 1. С. 48–58. <https://doi.org/10.31857/S0869780921010045>
9. Осипов В. И. Управление твердыми коммунальными отходами как федеральный экологический проект // Геоэкология. 2019. № 3. С. 3–11.
10. Осипов В. И., Галицкая И. В., Заиканов В. Г. Полигонная технология обращения с отходами // Геоэкология. 2022. № 3. С. 3–15.
11. Осипов В. И., Козлякова И. В., Мамаев Ю. А. Территориальное размещение твердых коммунальных отходов // Вестник РАН. 2020. Т. 90. № 6. С. 567–574. <https://doi.org/10.1134/S101933162002015X>.
12. Осипов В. И., Соколов В. Н. Глины и их свойства. М.: ГЕОС, 2013. 576 с.
13. Экзарьян В. Н. Геоэкология и охрана окружающей среды. М.: Изд. "Щит-М", 2009.
14. Экзарьян В. Н. Методологические основы районирования территорий для выбора мест размещения полигонов отходов // Сергеевские чтения. Вып. 20. Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии. М.: РУДН, 2018. С. 97–101.
15. Юганова Т. И. Выбор участков для размещения объектов обращения с отходами на основе методов многокритериального принятия решений // Геоэкология. 2019. № 4. С. 79–93. <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019479-93>
16. Balogun-Adeleye, R. M., Longe, E. O., Aiyesimoju, K. O. Environmental assessment of municipal solid waste (MSW) disposal options: A case study of Olushosun landfill, Lagos State // 1st Int. Conf. on Sustainable Infrastructural Development IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 640. P. 012091. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/640/1/012091>
17. Djokanović, S., Abolmasov, B., Jevremović, D. GIS application for landfill site selection: a case study in Pančevo, Serbia // Bull. Eng. Geol. Environ., 2016. V. 75. Is. 3. P. 1273–1299. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0888-0>
18. Ghobadi, M. H., Taheri, M., Taheri, K. Municipal solid waste landfill siting by using analytical hierarchy process (AHP) and a proposed karst vulnerability index in Ravansar County, west of Iran // Environ Earth Sci. 2017. № 76. P. 68. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6392-4>
19. Kozliakova, I. V., Kozhevnikova, I. A., Eremina, O. N., Anisimova, N. G. Engineering geological typification and zoning territory for allocation of municipal solid waste management facilities // PeriodicoTcheQuimica, 2020. V. 17. № 35. P. 1124–1136.
20. Mondelli, G., Giacheti, H. L., Gimenez Boscov, M. E. et al. Geoenvironmental site investigation using different techniques in a municipal solid waste disposal site in Brazil // Environ. Geol., 2007. № 52. P. 871–887. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0529-1>
21. Phukon, P., Phukan, S., Goswami, R. Municipal solid waste (MSW) disposal site selection in and around Guwahati city using GIS. Department of Geological Sciences, Gauhati University, Guwahati-781014, 2005.
22. Schueler A. S., Mahler, C. F. Classification method for urban solid waste disposal sites // Journal of Environmental Protection. 2011. V. 2. P. 473–481. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.24055>

ESTIMATIVE ENGINEERING GEOLOGICAL ZONING FOR ALLOCATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS (BY THE EXAMPLE OF VLADIMIR REGION, RUSSIA)

**V. I. Osipov^a, O. N. Eremina^{a, #}, I. V. Kozliakova^a, Yu. A. Mamaev^a, I. A. Kozhevnikova^a,
N. G. Anisimova^a**

^a*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,
Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

[#]*E-mail: o_eremina@mail.ru*

The paper describes the scientific and methodological fundamentals for the assessment of engineering geological conditions at platform areas for selection of environmentally friendly sites for allocating municipal solid waste landfills. By the example of Central Federal region of Russia and its part, Vladimir area, the algorithm of assessing the geoenvironment suitability is shown proceeding from the comprehensive consideration of geological structure, lithology of ground massifs, hydrogeology, and geohazards. The typological zoning of geoenvironment is performed in three stages: the first stage

includes the small-scale zoning for the preliminary estimation of ground conditions of large regions at the federal level; the second stage comprises the medium-scale zoning for the comprehensive assessment of the territory according to the complex of natural conditions in order to distinguish favorable areas at a regional level; the third stage stands for the large-scale zoning for outlining and comparison of particular plots for MSW disposal proceeding from the score assessment of factors. For each distinguished type of ground conditions, the additional engineering protective measures for landfill arrangement are assigned.

Keywords: *municipal solid waste, engineering geological zoning, geological conditions, MSW disposal, geohazards, site selection*

REFERENCES

1. Burova, V.N., Kozlyakova, I.V., Eremina, O. N. Problems in municipal solid waste disposal and risk assessment by the example of the Central federal region, Russia. *Geoekologiya*, 2022, no. 6, pp. 3–16. (in Russian)
2. [Geology of the USSR. Volume 4. Centre of the European part of the USSR. Geological description]. Moscow, Nedra Publ., 1971, 742 p. (in Russian)
3. Gol'dberg, V.M. [Interplay between the groundwater and environment pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987, 248 p. (in Russian)
4. [State geological map of the Russian Federation, scale 1:1000000]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 1999. (in Russian)
5. Zaikanov, V.G., Zaikanova, I.N., Buldakova, E.V. [Geocological and landscape ecological analysis of landfill sites in Moscow oblast]. In: *Sergeevskie chteniya*, issue 20. Proc. of the Sci. Conference March 22, 2018, Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 65–73 (in Russian)
6. [Engineering geology of the USSR, Volume 1. The Russian Platform.] I. S. Komarov, Ed., Mosk. Univ. Publ., 1978, 527 p. (in Russian)
7. Kozliakova, I.V., Kozhevnikova, I.A., Anisimova, N.G., Ivanov, P.V. [Engineering geological zoning of the Central federal okrug in Russia by the conditions of placing enterprises and disposal sites of municipal solid waste]. In: *Sergeevskie chteniya*, issue 20. Proc. of the Sci. Conference March 22, 2018, Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 74–76. (in Russian)
8. Kozliakova, I.V., Kozhevnikova, I.A., Eremina O.N., Anisimova, N.G. [Methodological principles of assessing geoenvironment for allocation of municipal solid waste management facilities]. *Geoekologiya*, 2021, no. 1, pp. 48–58. <https://doi.org/10.31857/S0869780921010045> (in Russian)
9. Osipov, V.I. [Management of municipal solid wastes as a Federal ecological project]. *Geoekologiya*, 2019, no. 3, pp. 3–11. (in Russian)
10. Osipov, V.I., Galitskaya, I.V., Zaikanov, V.G. [Landfill technology of waste management]. *Geoekologiya*, 2022, no.3, pp. 3–15. (in Russian)
11. Osipov, V.I., Mamaev, Yu.A., Kozliakova, I.V. Territorial placement of solid municipal waste landfills. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2020, vol. 90, no. 3, pp. 338–344. <https://doi.org/10.1134/S101933162002015X> (in Russian)
12. Osipov, V.I., Sokolov, V.N. [Clays and their properties]. Moscow, Geos Publ., 2013, 576 p. (in Russian)
13. Ekzaryan, V.N. [Geocology and the environment conservation]. Moscow, Shchit-M Publ., 2009. (in Russian)
14. Ekzaryan, V.N. [Methodological fundamentals of zoning territories for selecting places for the waste storage sites]. In: *Sergeevskie chteniya*, issue 20. Proc. of the Sci. Conference March 22, 2018, Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 97–101. (in Russian)
15. Yuganova, T.I. [Selection of sites for allocation of waste disposal objects based on the multicriteria decision-making methods] *Geoekologiya*, 2019, no. 4, pp. 79–93. <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019479-93> (in Russian)
16. Balogun-Adeleye, R.M., Longe, E.O., and Aiyesimoju, K.O. Environmental assessment of municipal solid waste (MSW) disposal options: A case study of Olushosun landfill, Lagos State // 1st Int. Conf. on Sustainable Infrastructural Development *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019, no. 640, 012091. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/640/1/012091>
17. Djokanović, S., Abolmasov, B., Jevremović, D. GIS application for landfill site selection: a case study in Pančevo, Serbia. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 2016, vol. 75, is. 3, pp. 1273–1299. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0888-0>
18. Ghobadi, M.H., Taheri, M., Taheri, K. Municipal solid waste landfill siting by using analytical hierarchy process (AHP) and a proposed karst vulnerability index in Ravansar County, west of Iran. *Environ Earth Sci.*, 2017, no. 76, p. 68. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6392-4>
19. Kozliakova, I.V., Kozhevnikova, I.A., Eremina, O.N., Anisimova, N.G. Engineering geological typification and zoning territory for allocation of municipal solid waste management facilities. *Periodico Tche Quimica*, 2020, vol. 17, no. 35, pp. 1124–1136.
20. Mondelli, G., Giacheti, H.L., Gimenez Boscov, M.E. et al. Geoenvironmental site investigation using different techniques in a municipal solid waste disposal site in Brazil. *Environ. Geol.*, 2007, no. 52, pp. 871–887. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0529-1>
21. Phukon, P., Phukan, S., Goswami, R. Municipal solid waste (MSW) disposal site selection in and around Guwahati city using GIS. Department of Geological Sciences, Gauhati University, Guwahati-781014, 2005.
22. Schueler, A.S., Mahler, C.F. Classification method for urban solid waste disposal sites. *Journal of Environmental Protection*, 2011, vol. 2, pp. 473–481. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.24055>