

---

---

УТИЛИЗАЦИЯ И ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

---

---

УДК 502/504

**ОЦЕНКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ  
ДЛЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ  
С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ**

© 2024 г. И. В. Козлякова<sup>1,\*</sup>, О. Н. Ерёмина<sup>1</sup>, Е. Р. Романова<sup>1</sup>,  
А. Г. Хайрединова<sup>1</sup>, Е. С. Чуткерашвили<sup>1</sup>

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

\*E-mail: ivk.geoenvironment@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.05.2024 г.

После доработки 28.05.2024 г.

Принята к публикации 20.07.2024 г.

Рассмотрены современные тенденции развития системы управления отходами, и указано на проблемы использования пространственной геологической информации, заключающиеся в сложности ее объединения с другими данными в общей системе обращения с отходами. Предложен методологический подход к использованию цифрового картографирования для учета особенностей геологической среды в территориальной схеме обращения с отходами на примере Московской области. В программе QGIS проведено оценочное районирование репрезентативной территории по благоприятности для размещения твердых коммунальных отходов в зависимости от наличия слабопроницаемых пород в геологическом разрезе.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, управление отходами, захоронение отходов, загрязнение, районирование, цифровое картографирование, защищенность геологической среды, территориальная схема обращения с отходами, геоэкологическая безопасность

DOI: 10.31857/S0869780924040081 EDN: SFLUSN

**ВВЕДЕНИЕ**

*Некоторые современные тенденции в области  
обращения с твердыми коммунальными  
отходами (ТКО)*

В сфере обращения с ТКО исследования геологической среды необходимы, в первую очередь, когда речь идет об их захоронении на полигонах. В этом случае, отходы часто непосредственно контактируют с подстилающими и вмещающими горными породами, а риск поступления загрязнения из свалочного тела в толщу пород и подземные воды может быть очень велик. В журнале *Environmental Science and Pollution Research* в 2022 г. был представлен исчерпывающий обзор публикаций последнего времени, посвященных исследованиям загрязнения окружающей среды, обусловленного захоронением отходов на полигонах и свалках во многих странах мира [15]. Авторы описывают так называемые “санитарные свалки” (sanitary landfills) — специально оборудованные понижения (естественные или искусственные) для захоронения отходов

с изолирующим слоем в днище и бортах и системой отвода образующихся газов и утилизации фильтрата. В обзоре отмечается, что даже для них существует большая вероятность подземного загрязнения из-за высокой токсичности воды, поступающей из захороненных отходов.

Воздействие фильтрата из свалочного тела на качество подземных вод в окрестностях полигона отходов может быть значительным. В развивающихся странах, где большая часть полигонов отходов построены без какой-либо изоляции от вмещающего массива горных пород, загрязнение подземных вод компонентами свалочного фильтрата наблюдается в радиусе до 1 км от их границ [13].

В.И. Осипов и др. [8] отмечают, что “важнейшей задачей при создании полигона является изолирование его основания. Наиболее благоприятной ситуацией следует считать наличие природного барьера достаточной мощности, сложенного породами (например, глинистыми) с низким коэффициентом фильтрации. При отсутствии природных барьеров допускается применение многобарьерной защиты с сочетанием природных и техногенных барьеров”.

Авторы используют термин “безопасный полигон”, понимая под этим, что отходы полностью изолированы от окружающей среды, а полигон оборудован системой отвода фильтрата и биогаза. Полигон можно считать безопасным в том случае, если на нем захораниваются только биоразлагаемые отходы, прошедшие предварительную сортировку.

Многобарьерная защита предусматривает использование комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на снижение эмиссии загрязняющих веществ (ЗВ) от полигона в окружающую среду. В организации полигонов захоронения выделяются три основные группы барьеров, обеспечивающих минимальное поступление ЗВ в окружающую среду. К ним относят: качество отходов, поступающих на захоронение после предварительной сортировки; естественную (природную) защиту — прежде всего наличие слабопроницаемых пород в основании полигона; искусственную защиту — использование специальных технологических решений [11].

Инженерно-геологическая оценка территории для выбора участков размещения отходов основывается на том положении, что существование в геологическом разрезе природных барьеров, препятствующих поступлению загрязнения с поверхности в грунтовые толщи и подземные воды, значительно упрощает задачу сохранения благоприятной экологической обстановки в районах полигонов и предприятий утилизации ТКО [6, 12].

Захоронение ТКО на полигонах влечет за собой серьезный риск ущерба для геологической среды. В России многие из таких объектов эксплуатируются давно и возникли стихийно из старых свалок в отработанных карьерах. Практически повсеместно выбор места размещения ТКО проводился без учета геологических и экологических критериев. Но даже в случае, если соблюдены все требуемые нормативами меры защиты, нельзя полностью исключить поступление ЗВ в геологическую среду на территории размещения полигона ТКО. Для объектов повышенной экологической опасности всегда требуется рассмотрение пессимистичного сценария развития событий.

В вопросах обращения с ТКО лица, принимающие решения, находятся в очень непростой ситуации. С одной стороны, социальная напряженность в связи с размещением отходов и предприятий по их утилизации в районах тех или иных населенных пунктов, с другой — экологические и геоэкологические ограничения.

Существует мнение, что от захоронения отходов вообще следует отказаться, а инженерно-геологические и геоэкологические исследования направлять только на рекультивацию загрязненных территорий [7].

В последнее время в систему управления ТКО приходят современные технологии и применение методов науки о данных<sup>1</sup>. К разделам управления ТКО, которые могут извлечь наибольшую пользу из информации, основанной на данных, относят прогнозирование образования отходов, оптимизацию маршрутов сбора и развитие технологий переработки. Перспективы расширения роли науки о данных заключаются в привлечении геоинформационных исследований для управления отходами. Например, картирование горячих точек образования отходов в режиме реального времени, прогнозирование емкости свалок, оптимизация маршрутов сбора отходов с использованием данных о дорожном движении в реальном времени [14].

Проблема использования пространственной геологической информации заключается, главным образом, в ее специфическом, преимущественно нецифровом (растровом или бумажном) формате. Информация с геологических карт и разрезов трудно совместима с прочими характеристиками объектов ТКО. Необходим такой подход, который бы обеспечивал возможность объединения геологической информации с другими данными в системе обращения с отходами.

## О ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СХЕМЕ ОБРАЩЕНИЯ С ТКО

В России геологические и геоэкологические исследования для целей обращения с ТКО на региональном уровне, т.е. для отдельных субъектов Российской Федерации (РФ), в основном, имеют своей целью совершенствование территориальных схем обращения с отходами. В состав территориальных схем большинства областей РФ входит электронная модель, под которой понимается “информационная система, включающая в себя базы данных, программное и техническое обеспечение, предназначенные для ввода, хранения, актуализации, обработки, анализа, представления, визуализации данных о системе организации и осуществления на территории субъекта РФ деятельности по накоплению (в том числе раздельному накоплению), сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов, образующихся на территории субъекта РФ, и (или) отходов, поступающих из других субъектов РФ” [9].

Электронная модель территориальной схемы включает, как правило, пространственную информацию о расположении источников отходов;

<sup>1</sup> Наука о данных — раздел информатики, который изучает проблемы анализа, обработки и представления данных в цифровой форме. Основная практическая цель профессиональной деятельности в науке о данных — обнаружение закономерностей в данных и извлечение знаний из данных в обобщенной форме.

местах сбора и накопления отходов; количестве образующихся отходов; целевых показателях по утилизации; схемах потоков отходов и прочее. Вся информация представлена в виде пространственно привязанных точечных данных или различного рода карт-схем. Каких-либо характеристик природных условий территории области электронная модель не содержит [10]. Тем более она не содержит никаких карт и карт-схем геологического содержания. По всей видимости, это обусловлено сложностью формализации геологической информации и представления ее для понимания неспециалистами.

То есть в территориальных схемах обращения с ТКО субъектов РФ геологическая среда практически никак не охарактеризована [10], и органы, принимающие решения по оценке экологической ситуации в регионе, лишены возможности получить представление о том, насколько велико негативное влияние существующих объектов ТКО на геологическую среду.

Размещение новых полигонов захоронения отходов тоже происходит без учета особенностей геологической среды. Фактически сведения об инженерно-геологической обстановке на участке предполагаемого полигона могут быть получены только на стадии изысканий, когда место размещения полигона уже выбрано. Конечно, существуют геологические и инженерно-геологические карты территорий субъектов РФ, и они, безусловно, так или иначе анализируются при обращении с ТКО, но воздействие отходов на геологическую среду имеет специфические особенности и для его учета требуется специальное инженерно-геологическое районирование [8].

Инженерно-геологическая типизация геологических условий и районирование территории, выполненные на основе принципов оценки естественной защищенности геологической среды от загрязнения и включенные в электронную модель, должны быть понятны как представителям органов, принимающих решения, так и населению. Только в этом случае можно добиться того, чтобы геологические условия учитывались при оценке ситуации на участках уже существующих объектов ТКО и планировании размещения новых.

## ТИПИЗАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Рассмотрим основные принципы инженерно-геологической оценки территорий для размещения ТКО на примере Московской области. Проблемы Московской обл. в сфере обращения с отходами те же, что и везде в России. Здесь много старых полигонов, практически исчерпавших свой ресурс, крайне негативное отношение

населения к любым объектам обращения с отходами — и к полигонам захоронения, и к мусоросжигательным заводам, какими бы современными они не были [1, 2].

В геологическом строении территории Московской обл. четко обособляются два стратиграфических комплекса — дочетвертичный и четвертичный. Они отличаются по составу и строению слагающих пород, условиям залегания и обводненности. Эти отличия — результат разных условий образования этих комплексов в составе осадочного чехла древней платформы.

Дочетвертичные отложения образовались преимущественно в морских условиях. По составу это терригенные и карбонатно-терригенные породы, сохраняющие последовательность напластования на достаточно большой площади, только на участках древних речных долин они могут быть частично или полностью размыты.

Четвертичные отложения имеют континентальное происхождение. Они значительно более изменчивы по простиранию и мощности. Это в основном нелитифицированные или слаболитифицированные породы, представленные песками, супесями и суглинками. Водоносные комплексы в четвертичных отложениях характеризуются наличием прямой взаимосвязи между входящими в их состав невыдержанными по простиранию водоносными горизонтами.

При геологическом картографировании платформенных территорий четвертичные и дочетвертичные отложения показывают на отдельных картах, что дает возможность получить более детальную характеристику геологического строения территории. Анализ этих карт с учетом известных закономерностей геологических напластований, позволил провести типизацию геологических условий территории.

Типизация грунтовых толщ территории Московской обл. приведена в табл. 1. При ее составлении предполагалось, что естественная защищенность геологической среды зависит от наличия в геологическом разрезе слабопроницаемых (водоупорных) слоев, их количества и мощности [3, 4].

Среди дочетвертичных отложений присутствует один мощный и выдержанный по простиранию водоупорный слой глин юрского возраста. В зависимости от наличия или отсутствия этих глин выделяются два типа грунтовых толщ дочетвертичного возраста.

В четвертичной толще слабопроницаемые слои — это моренные суглинки. В четвертичном разрезе встречаются отложения сетуньской, донской, окской и московской морен, из которых широко распространены только донская и московская. Они представлены суглинками с включением валунов и щебня. Мощность моренных

Таблица 1. Основные типы геологического строения на территории Московской области [4]

| Четвертичные отложения | Дочетвертичные отложения                                                                                                                                                                   | Каменноугольные терригенно-карбонатные породы, иногда перекрытые юрскими песками (как правило водоносные) | Каменноугольные терригенно-карбонатные породы, перекрытые юрскими песками и глинами, над которыми местами залегают пески мелового возраста. Юрские глины разделяют каменноугольный водоносный горизонт и водоносный горизонт в юрских и меловых песках) |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        |                                                                                                                                                                                            | I                                                                                                         | II                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1                      | Отложения московской и донской морены (или одной из них), залегают с поверхности или перекрыты маломощными песками (менее 10 м)                                                            | I–1                                                                                                       | II–1                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 2                      | Аллювиальные, озерные и водно-ледниковые пески и песчано-глинистые отложения мощностью более 10 м подстилаются моренными суглинками                                                        | I–2                                                                                                       | II–2                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3                      | Аллювиальные, озерные и водно-ледниковые пески и песчано-глинистые отложения слагают всю четвертичную толщу, выдержанные по простиранию и мощности моренные суглинки в разрезе отсутствуют | I–3                                                                                                       | II–3                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                        | Четвертичные отложения отсутствуют или имеют мощность менее 1 м                                                                                                                            | I–I                                                                                                       | II–II                                                                                                                                                                                                                                                   |

суглинок может превышать 40 м. Они залегают на водоразделах или заполняют доледниковые речные врезы. В зависимости от их залегания в разрезе выделяются грунтовые толщи:

1 – отложения московской и донской морены залегают с поверхности или перекрыты маломощными песками (менее 10 м);

2 – аллювиальные, озерные и водно-ледниковые пески мощностью более 10 м подстилаются моренными суглинками;

3 – аллювиальные, озерные и водно-ледниковые пески слагают всю четвертичную толщу, выдержанные по простиранию и мощности моренные суглинки в разрезе отсутствуют.

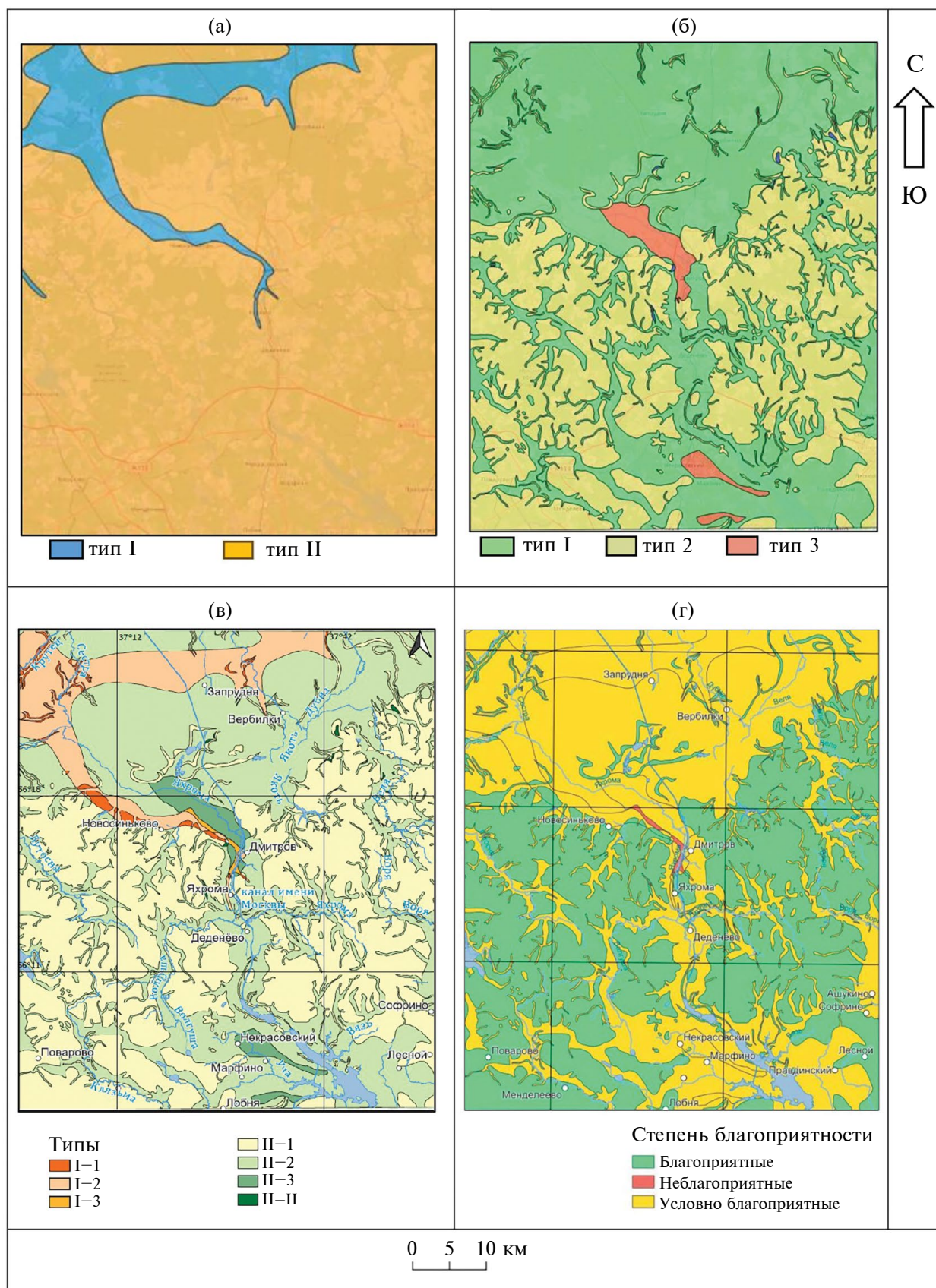
Кроме того, на территории области есть участки, где четвертичные отложения отсутствуют или имеют небольшую мощность.

Типизация грунтовых толщ Московской обл. – это только первый этап оценки степени пригодности территории для реализации проектов обращения с ТКО. Следующий этап – создание

двух информационных картографических слоев: пространственное расположение типов дочетвертичных отложений и пространственное расположение типов четвертичных отложений. Взаимное наложение этих слоев позволит дать площадную оценку естественной защищенности геологической среды от загрязнения с поверхности на карте специального инженерно-геологического районирования.

При работе над картой стояло два основных вопроса. Первый – как сделать ее достаточно простой и понятной неспециалисту, сохранив необходимую информативность? Второй – где взять информацию?

Ответом на первый вопрос стала разработанная типизация грунтовых толщ, которая позволяет выделять районы по степени защищенности геологической среды, учитывая количество слабопроницаемых толщ в геологическом разрезе. Что касается получения доступной информации о геологическом строении территории, то наиболее оптимальным видимо является использование листов Государственной геологической карты СССР



**Рис. 1.** Инженерно-геологическое районирование Московской обл. для размещения полигонов ТКОО (репрезентативный участок – Дмитровский городской округ и окрестности): а – вспомогательный информационный слой “типы дочетвертичных отложений”, б – вспомогательный информационный слой “типы четвертичных отложений”, в – карта типологического районирования, г – карта оценочного районирования. Условные обозначения см. табл. 1 и 2.



масштаба 1 : 200 000. Ее детальность, с определенными допущениями, можно считать соответствующей региональному уровню исследований.

Была осуществлена пространственная привязка листов карты дочетвертичных отложений и карты четвертичных отложений в программе QGIS для всей территории Московской обл., т.е. была создана основа для составления цифровой карты инженерно-геологического районирования области в соответствии с разработанной типизацией. Проведено апробирование предложенного подхода и составлен рабочий вариант карты районирования для Дмитровского городского округа.

Выделение типов четвертичных отложений и их площадного распространения проводилось в соответствии с типизацией (см. табл. 1) и на основании анализа карты четвертичных отложений, геологических разрезов, схем соотношения четвертичных отложений. В результате был создан в цифровом виде вспомогательный слой – распространение типов четвертичных отложений (рис. 1). Аналогичным образом на основе геологической карты дочетвертичных отложений создан второй вспомогательный слой – распространение типов дочетвертичных отложений.

Результатом взаимного наложения двух вспомогательных слоев стала карта инженерно-геологического районирования, которая дает представление о распространении различных типов грунтовых толщ на исследуемой территории и позволяет судить об изменении защищенности геологической среды по площади (см. рис. 1).

Такое районирование вместе с типизацией грунтовых толщ – первый этап оценки естественной защищенности геологической среды территории. При этом главным фактором является характеристика естественной защищенности геологической среды от загрязнения, поступающего с поверхности, который определяется наличием в геологическом разрезе слабопроницаемых толщ, их количеством, глубиной залегания и мощностью.

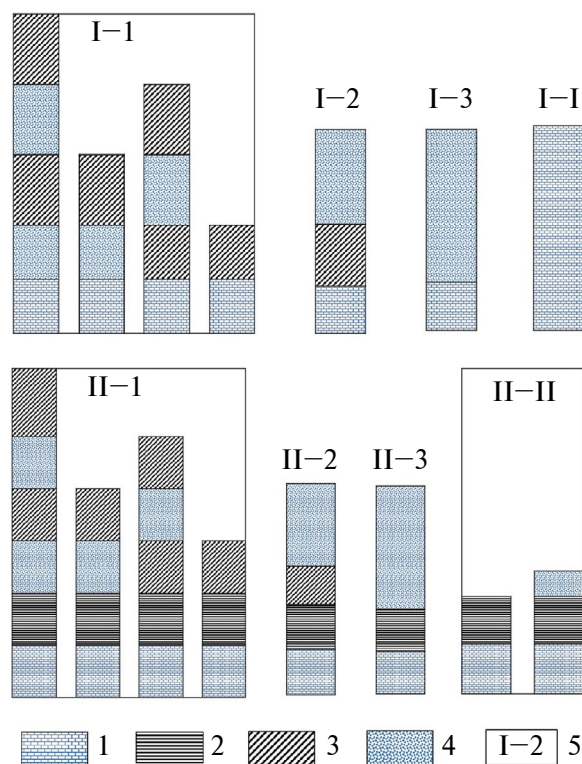
#### *Оценочное инженерно-геологическое районирование*

В территориальную схему обращения с отходами субъектов РФ целесообразно включать окончательную формализованную оценку геологических условий по принципу “пригодные – непригодные” или менее категорично – “благоприятные – неблагоприятные”.

Представление о природной геолого-гидрогеологической обстановке территории могут дать типовые геологические разрезы. Обобщенные литологические колонки для всех типов грунтовых толщ, выделенных при проведении типизации геологической среды приведены на рис. 2.

В колонках схематизирован геологический разрез каждого таксона типизации, и до глубины около 50 м показаны разные по водопроницаемости слои. Четверичные и мезозойские пески представляют собой хорошо проницаемые породы, часто водонасыщенные. Карбонатно-терригенные породы каменноугольного возраста, преимущественно водоносные или хорошо проницаемые. На участках распространения терригенных прослоев такие грунтовые толщи можно характеризовать как неравномерно проницаемые или частично обводненные. К слабопроницаемым породам относят юрские глины и четвертичные моренные суглинки. Юрские глины разделяют четвертичный водоносный горизонт в песках и каменноугольный преимущественно напорный водоносный комплекс в карбонатно-терригенных породах. Моренные суглинки не выдержаны по простирацию и разделяют водоносные горизонты в четвертичных песках различных геолого-генетических комплексов.

Цель оценочного районирования области для размещения ТКО – ранжировать территорию по сложности проведения мероприятий в сфере



**Рис. 2.** Типовые разрезы грунтовых толщ Московской обл. [3]. Условные обозначения: 1 – известняки с прослоями глин, доломитов и мергелей, хорошо проницаемые, водоносные и частично обводненные, 2 – глины, слабопроницаемые, 3 – моренные суглинки, слабопроницаемые, 4 – пески, хорошо проницаемые и обводненные, 5 – индекс типа грунтовых толщ.

обращения с отходами. В основу районирования целесообразно заложить не запреты, а *предупреждения для соответствующих органов и компаний о масштабах проблем, с которыми они могут столкнуться, размещая полигоны на том или ином участке*. Выделенные при типизации грунтовые толщи были отнесены либо к благоприятной, либо условно благоприятной, или неблагоприятной категории с позиций оценки условий размещения ТКО (см. табл. 2).

Благоприятная категория характерна для участков, где слабопроницаемые толщи залегают с поверхности, что препятствует поступлению загрязнения в четвертичный и каменноугольный водоносный горизонт. То есть можно считать, что здесь геологическая среда в естественных условиях защищена от загрязнения.

Условно благоприятная категория – это участки, где с поверхности залегает мощная хорошо проницаемая песчаная толща. В разрезе присутствует слабопроницаемый слой, но он залегает на достаточно большой глубине и защищает от загрязнения только водоносный горизонт в каменноугольных терригенно-карбонатных породах.

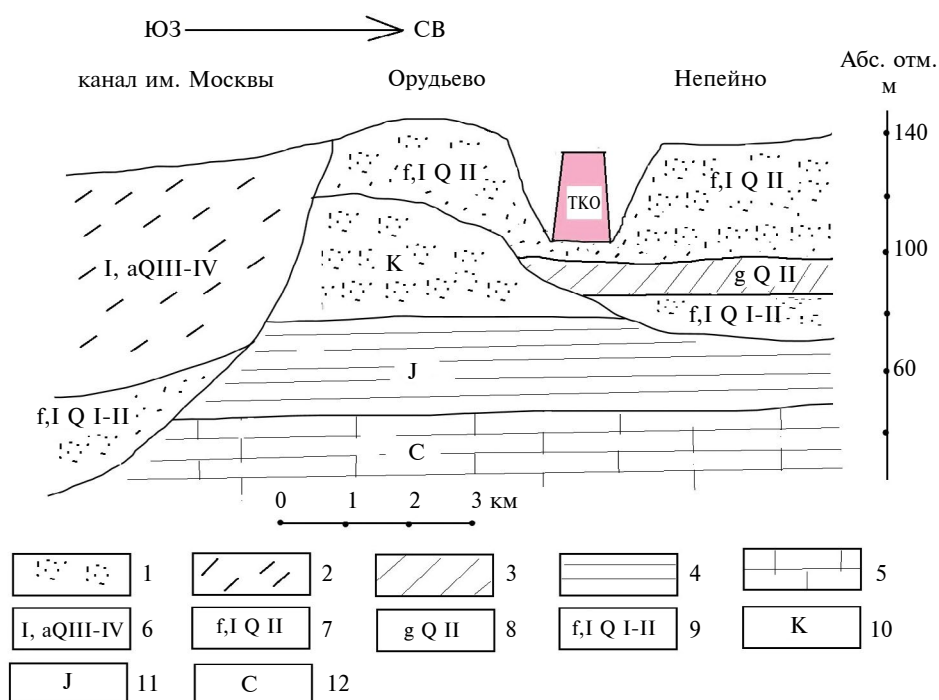
Неблагоприятная категория — участки, в пределах которых отсутствуют выдержанные по простиранию слабопроницаемые толщи моренных суглинков и юрских глин; разрез до глубины 50 м представлен четвертичными песками и карбонатно-терригенными породами каменноугольного возраста.

При типизации и районировании территории области учитывалась изменчивость геологического строения, соответствующая региональному уровню исследований. При выделении районов допускалась определенная генерализация — игнорирование малых выделов, спрямление границ районов. Основой для проведения этих работ стали карты масштаба 1 : 200 000, которые, в свою очередь, также имеют ограниченную точность при проведении геологических границ. То есть при выполнении локальных исследований и уточнении геологического строения категория благоприятности может быть изменена.

Площадное расположение территорий различной категории благоприятности показано на карте оценочного инженерно-геологического районирования для размещения полигонов ТКО (см. рис. 1г ), которая дает представление

**Таблица 2.** Ранжирование территории Московской обл. по степени благоприятности инженерно-геологических условий для размещения отходов [5]

| Степень благоприятности инженерно-геологических условий. (типы грунтовых толщ) | Особенности инженерно-геологических условий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Благоприятные (I–1, II–1, II–II)                                               | В разрезе выделяются одна или две слабопроницаемые толщи пород, залегающие практически с поверхности.<br>Геологическая среда защищена от загрязнения, поступающего с поверхности                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Условно благоприятные (I–2, II–2, II–3)                                        | С поверхности залегают четвертичные пески большой мощности, хорошо проницаемые и часто водоносные.<br>Каменноугольный водоносный комплекс отделен от четвертичного водоносного горизонта слабопроницаемым слоем юрских глин и/или четвертичной мореной.<br>Четвертичный водоносный горизонт незащищен от загрязнения с поверхности. В таких условиях сооружение полигона захоронения ТКО требует специальных конструктивных решений               |
| Неблагоприятные (I–3, I–I)                                                     | В разрезе выделяются только хорошо проницаемые и водоносные четвертичные пески и/или каменноугольные терригенно-карбонатные породы. Геологическая среда практически незащищена от загрязнения на большей части территорий.<br>При детальном исследовании возможно выделение участков, где в каменноугольной толще встречаются слои глин достаточной мощности, что может служить обоснованием для перевода участка в более благоприятную категорию |



**Рис. 3.** Схема геологического строения в окрестностях полигона ТКО Непейно [3]. Условные обозначения: 1 – пески, 2 – песчано-глинистые отложения, 3 – суглинки, 4 – глины, 5 – известняки, 6 – верхнечетвертичные, современные озерно-аллювиальные отложения, 7 – среднечетвертичные флювиогляциальные и озерные отложения, 8 – среднечетвертичные ледниковые отложения (московская морена), 9 – ниже-, среднечетвертичные флювиогляциальные и озерные отложения, 10 – отложения меловой системы, 11 – отложения юрской системы, 12 – отложения каменноугольной системы.

о возможных сложностях при размещении отходов в том или ином районе, причем, не только на участке расположения полигона, но и в его окрестностях. Карта составлена на основе карты типологического инженерно-геологического районирования (см. рис. 1в) и оценки степени благоприятности каждого выделенного типа с позиций обращения с ТКО (см. табл. 2).

#### *Анализ геологической обстановки в окрестностях полигона ТКО (на примере полигона Непейно)*

Типизация территории по пригодности для размещения объектов ТКО представляет собой пространственную информацию о характеристиках геологической среды и должна использоваться на предпроектном этапе работ по размещению объектов обращения с отходами. Но даже если полигон расположен на достаточно благоприятном участке, геологическая среда которого характеризуется естественными защитными свойствами, нельзя полностью исключить риск ущерба от поступления загрязнения с поверхности в геологическую среду (горные породы и подземные воды).

Инженерные изыскания под строительства или рекультивацию полигонов ограничиваются,

к сожалению, только участком размещения объекта и глубиной 20–30 м, хотя изучение геолого-гидрогеологической обстановки на прилегающей территории имеет немаловажное значение. Рассмотрим это на примере полигона Непейно в Дмитровском районе Московской обл. [3]. Этот полигон расположен в 1,3 км к северу от деревни Непейно, функционирует с 1975 г. и находится в отработанном песчаном карьере. В соответствии с картой оценочного районирования полигон расположен в пределах территории, отнесенной к условно благоприятной категории.

В основании свалочного тела под маломощными среднечетвертичными флювиогляциальными песками здесь залегают отложения московской морены. Они представлены супесями и суглинками с включением гравия и щебня, с линзами песка. Максимальная вскрытая мощность моренных отложений по данным инженерно-геологических изысканий составляет 22 м. Они представляют собой водоупорный слой и разделяют грунтовый безнапорный водоносный горизонт в вышележащих среднечетвертичных флювиогляциальных песках и техногенных грунтах свалочного тела и напорный водоносный горизонт в ниже-, среднечетвертичных озерных и флювиогляциальных песках. То есть, на первый взгляд, на участке полигона существует природный защитный барьер в виде суглинков



московской морены, который препятствует поступлению компонентов свалочного фильтрата в глубокие горизонты подземных вод.

Изучение же геологического строения окрестностей полигона показывает следующее: отложения московской морены не имеют выдержанного распространения и выклиниваются менее чем в 1 км от полигона; в 4–5 км к юго-западу от полигона расположен крупный речной доледниковый размыв, вскрывший толщу известняков каменноугольного возраста (рис. 3).

В окрестностях полигона отмечается практически прямая гидравлическая связь грунтового и каменноугольного водоносных горизонтов, т.е. существует достаточно высокий риск поступления компонентов свалочного фильтрата в каменноугольный водоносный горизонт — основной источник питьевого водоснабжения. В таких условиях даже после предстоящего закрытия полигона и при проведении его рекультивации обязательным требованием должно быть осуществление мониторинга химического состава подземных вод не только грунтового, но и более глубоких водоносных горизонтов, вплоть до подземных вод каменноугольных известняков.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представление об особенностях геологической среды для обращения с ТКО на территории субъекта РФ дает карта оценочного инженерно-геологического районирования. Она оперирует категориями благоприятные — неблагоприятные условия и должна быть понятна неспециалисту. Смысловая нагрузка категорий достаточно проста и объясняется в специальной таблице (приложение к карте). Включение такой карты в территориальную схему обращения с отходами позволит увидеть, какие действующие и рекультивируемые полигоны расположены в неблагоприятных условиях и требуют особого внимания для обеспечения геоэкологической безопасности на прилегающих территориях. С другой стороны, карта может использоваться для принятия решений на региональном уровне по размещению новых полигонов ТКО.

Карта составлена в цифровом формате и может войти в состав электронной модели территориальной схемы обращения с отходами. Объединение в электронной модели информации о геологической среде региона с такими, например, данными как расположение объектов ТКО поставит обращение с отходами на территории субъекта РФ на более современный и безопасный уровень.

*Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 22-17-00045.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Кашиперук П.И., Макеева Т.Г., Аканов А.В. и др. Некоторые правовые и природоохранные вопросы формирования полигонов переработки и захоронения ТКО в Подмоскowie // Сергеевские чтения: Вып. 20. Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии. М.: РУДН, 2018. С. 71–73.
3. Козлякова И.В., Еремина О.Н. Оценка геологической среды для размещения твердых коммунальных отходов на территории Московской области. Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли — 2022 // Сб. матер. Всерос. (национальной) научно-практ. конф. (Москва, 14 октября 2022 г.). М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2022. С. 201–208.
4. Козлякова И.В., Еремина О.Н., Романова Е.Р. и др. Карта типологического инженерно-геологического районирования для размещения твердых коммунальных отходов на территории Московской области // Сергеевские чтения. Вып. 24. Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики. М.: Геоинфо, 2023. С. 168–171.
5. Козлякова И.В., Еремина О.Н., Романова Е.Р. и др. Оценочное инженерно-геологическое районирование для территориальной схемы обращения с твердыми коммунальными отходами // Сергеевские чтения. Вып. 25. Региональная инженерная геология и геоэкология. М.: “Геоинфо”, 2024. С. 297–300.
6. 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>.
7. Королев В.А. Полигоны ТБО: есть ли альтернатива? // Инженерная геология. 2010. № 1. С. 46–56.
8. Осипов В.И., Галицкая И.В., Заиканов В.Г. Полигонная технология обращения с отходами // Геоэкология. 2022. № 3. С. 3–15. <https://doi.org/10.31857/S0869780922030079>
9. Правила разработки, общественного обсуждения, утверждения, корректировки территориальных схем в области обращения с отходами производства и потребления, в том числе с твердыми коммунальными отходами, а также требования к составу и содержанию таких схем. Утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 22 сентября 2018 г. N 1130. <https://base.garant.ru/72060036/>
10. Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Московской области. 2018. <https://люберцы.рф/files/JKH/Regoper/Территориальная%20схема.pdf>
11. Управление отходами. Полигонные технологии захоронения твердых бытовых отходов. Рекультивация и постэксплуатационное обслуживание полигона: монография / [Вайсман Я.И. и др.]. Под ред. Я.И. Вайсмана. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012. 244 с.
12. Irina V. Kozliakova, Irina A. Kozhevnikova, Olga N. Eremina, Nadezhda G. Anisimova Engineering Geological Typification of Territories for Allocation of Municipal Solid Waste Management Facilities (with the Example of Central Russia) // Periodico Tch Quimica. 2020. V. 17. №35. P. 1124–1136.
13. Mishra S., Tiwary D., Ohri A., Agnihotri A.K. Impact of municipal solid waste landfill leachate on groundwater quality in Varanasi, India // Groundwater for Sustainable Development. 2019. 9:100230. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2019.100230>

14. *Muhammad Tajammal Munir, Bing Li, Muhammad Naqvi, Abdul-Sattar Nizami.* Green loops and clean skies: Optimizing municipal solid waste management using data science for a circular economy // *Environmental Research*. 2024. V. 243. 117786.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117786>
15. *Ayesha Siddiqua, John N. Hahladakis, Wadha Ahmed K.A. AlAttiya.* An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. 29:58514–58536.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-21578-z>

## ASSESSMENT OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT FOR THE TERRITORIAL SCHEME OF MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT

**I. V. Kozliakova<sup>a,#</sup>, O. N. Eremina<sup>a</sup>, E. R. Romanova<sup>a</sup>, A. G. Khairedinova<sup>a</sup>,  
E. S. Chutkerashvili<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,*

*Ulamnslii per. 13, str.2, Moscow, 101000 Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: ivk.geoenv@yandex.ru*

The current trends in the municipal waste management development are considered and the problems in using spatial geological data are shown, which consist in the complexity of combining geological information with other data in the waste management system. A methodological approach is proposed to take into account the geological environment specifics in the territorial scheme of waste management on the basis of digital mapping by the example of the Moscow region. An assessment zoning of a representative key site was carried out in the QGIS program according to its suitability for the municipal solid waste disposal depending on the presence of low-permeable soils and rocks in the geological section.

**Keywords:** *municipal solid waste, waste management, waste disposal, protection from pollution, zoning, digital mapping, natural protection of the geological environment, territorial waste management scheme, geocological safety*

### REFERENCES

1. Zaikanov, V.G., Zaikanova, I.N., Buldakova, E.V. [Geocological and landscape-ecological analysis of existing landfill areas in Moscow region]. In: [Sergeev's readings. Issue 20. Waste management: tasks for environmental geoscience and engineering geology. Proc. annual session of the Sci. Council RAS on the problems in geocology, engineering geology and hydrogeology. March 22, 2018]. Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 65–73 (in Russian)
2. Kashperuk, P.I., Makeeva, T.G., Akanov, A.V., Nikitina, K.V., Podlesnykh, A.I. [Some legislative and nature-conservation issues of forming MSW recycling and disposal sites in the Moscow region] In: [Sergeev's readings. Issue 20. Waste management: tasks for environmental geoscience and engineering geology. Proc. annual session of the Sci. Council RAS on the problems in geocology, engineering geology and hydrogeology. March 22, 2018]. Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 71–73 (in Russian)
3. Kozliakova, I.V., Eremina, O.N. [Assessment of geological environment for the disposal of municipal solid waste in the Moscow area]. In: [Geocological problems of anthropogenic stage in the Earth's history -2022. Proc. All-Russia (national) sci. and pract. conf. (Moscow, October 14, 2022)]. Moscow, MISI-MGSU Publ., 2022, pp. 201–208. (in Russian)
4. Kozliakova, I.V., Eremina, O.N., Romanova, E.R. et al. [The map of typological engineering geological zoning for the disposal of municipal solid waste in the Moscow region]. In: [Sergeev's readings. Fundamental and applied issues of engineering geodynamics. Issue 24. Proc. annual session of the Sci. Council RAS on the problems in geocology, engineering geology and hydrogeology (March 30–31, 2023)]. Moscow, Geoinfo Publ., 2023, pp. 168–171 (in Russian)
5. Kozliakova, I.V., Eremina, O.N., Romanova, E.R., Khairedinova, A.G., Chutkerashvili, E.S. [Estimative engineerign geological zoning for the territorial scheme of MSW management]. In: [Sergeev's readings. Regional engineering geology and geocology. Issue 25. Proc. annual session of the Sci. Council RAS on the problems in geocology, engineering geology and hydrogeology (March 28–29, 2024)]. Moscow, Geoinfo Publ., 2024, pp. 297–300 (in Russian)
6. Kozliakova, I.V., Kozhevnikova, I.A., Eremina, O.N., Anisimova, N.G. [Methodological principles of geological environment assessment for allocation of MSW management facilities]. *Geoekologiya*, 2021, no. 1, pp. 48–58. <https://doi.org/10.31857/S0869780921010045>. (in Russian)
6. Korolev, V.A. [MSW disposal sites: is there any alternative?]. *Inzhenernaya geologiya*, 2010, no. 1, pp. 46–56 (in Russian)
7. Korolev, V.A. [MSW disposal sites: is there any alternative?]. *Inzhenernaya geologiya*, 2010, no. 1, pp. 46–56. (in Russian)
8. Osipov, V.I., Galitskaya, I.V., Zaikanov, V.G. [Landfill technology of waste management]. *Geoekologiya*, 2022, no. 3, pp. 3–15.  
<https://doi.org/10.31857/S0869780922030079> (in Russian)
9. [Rules for the development, public discussion, approval, adjustment of territorial schemes in the management of production and consumption waste, including municipal solid waste, as well as requirements for the composition and content of such schemes. Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of September 22, 2018, no. 1130.] (in Russian)

10. [Territorial waste management scheme including municipal solid waste for the Moscow region]. Krasnogorsk, 2018. (in Russian)
11. [Waste management. Landfill technologies for solid waste disposal. Reclamation and post-operational maintenance of a landfill]. Vaisman Ya.I. et al. Perm, Perm National Research Polytechnic Univ. Publ., 2012, 244 p. (in Russian)
12. Kozliakova, I.V., Kozhevnikova, I.A., Eremina, O.N., Anisimova, N.G. Engineering geological typification of territories for allocation of municipal solid waste management facilities (with the example of Central Russia). *Periodico Tch Quimica*, 2020, vol.17, no.35, p. 1124–1136
13. Mishra, S., Tiwary, D., Ohri, A., Agnihotri, A.K. (Impact of municipal solid waste landfill leachate on groundwater quality in Varanasi, India. *Groundw Sustain Dev*, 2019, no. 9:100230 <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2019.100230>
14. Muhammad Tajammal Munir, Bing Li, Muhammad Naqvi, Abdul-Sattar Nizami. Green loops and clean skies: Optimizing municipal solid waste management using data science for a circular economy. *Environmental Research*. 2024, vol. 243, no. 117786 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117786>
15. Ayesha Siddiqua, John N. Hahladakis, Wadha Ahmed K A Al-Attiya. An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, no. 29, pp. 58514–58536. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21578-z>