

УТИЛИЗАЦИЯ И ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

УДК 628.4.02

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ОБРАЩЕНИЯ С ТКО

© 2021 г. И. В. Козлякова^{1,*}, И. А. Кожевникова¹, О. Н. Еремина^{1,**}, Н. Г. Анисимова¹

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

*E-mail: kozlyakova@rambler.ru

**E-mail: o_eremina@mail.ru

Поступила в редакцию 01.10.2020 г.

После доработки 05.11.2020 г.

Принята к публикации 18.11.2020 г.

Оптимальное размещение площадок временного складирования, переработки и захоронения твердых коммунальных отходов (ТКО), при котором создаваемые объекты не становятся новым источником техногенного загрязнения окружающей среды, требует проведения предварительного инженерно-геологического районирования территорий. Такое районирование должно быть основано на всестороннем анализе геологической среды и оценке степени ее защищенности от загрязнения. В статье изложены методологические принципы типизации геологической среды и предложены критерии районирования территорий по степени благоприятности инженерно-геологических условий для размещения объектов обращения с ТКО. В основу схемы районирования положено наличие в геологическом разрезе слабопроницаемых пород и условия их залегания. На примере Центрального Федерального округа РФ определены основные типы геолого-гидрогеологического строения и составлена Карта инженерно-геологического районирования ЦФО по условиям размещения предприятий и полигонов ТКО в масштабе 1:2500000. Сделано заключение, что в подавляющей части территории округа сооружение объектов обращения с отходами требует дополнительных мер по защите геологической среды от загрязнения.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, инженерно-геологические условия, типизация геологической среды, инженерно-геологическое районирование, защищенность геологической среды, Центральный Федеральный округ РФ, объекты обращения с отходами

DOI: 10.31857/S0869780921010045

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обращения с отходами — одна из крупных экологических проблем современности. О том, как ее надо решать, много говорится в настоящее время [6, 10, 11, 14, 15]. Один из наиболее спорных аспектов — выбор мест захоронения твердых коммунальных отходов (ТКО) или размещения предприятий их утилизации. К исследованиям, направленным на обеспечение безопасного обращения с бытовыми и промышленными отходами привлечено внимание специалистов разных стран мира [20, 29, 30, 32]. Сложность проблемы обусловлена, прежде всего, ее мультидисциплинарным характером, включающим большое число социально-экономических, технологических и экологических аспектов. Существует большое количество исследований, показывающих необходимость проведения многокритериального анализа при выборе мест для размещения отходов. В последние годы во многих странах мира решение вопроса о выборе мест раз-

мещения объектов обращения с отходами базируется на мультикритериальном подходе с использованием ГИС-технологий. Такой подход хорошо зарекомендовал себя, доказав свою высокую эффективность в нахождении разумного решения [19, 23–28, 31].

Инженерно-геологические условия — один из критериев, который на практике учитывается в самую последнюю очередь. В приоритете стоит удаленность от населенных пунктов, поверхностных водоемов, особо охраняемых природных территорий. Деграция геологической среды, безусловно, происходит значительно медленнее, чем изменения поверхностных объектов. В то же время геологическая среда (горные породы и подземные воды) способны накапливать вредные компоненты в течение длительного времени, создавая тем самым предпосылки экологической катастрофы для будущих поколений. Недооценивая сейчас опасность изменения геологической среды при размещении отходов, мы создаем угрозу экологической безопасности будущего.

Цель настоящего исследования — разработка методологии оценки естественной защищенности геологической среды от загрязнения в рамках крупных экологических проектов по размещению предприятий утилизации ТКО. Работа выполнена на примере Центральной России.

Основным способом утилизации ТКО в России до сих пор остается их захоронение на полигонах. Действующая система обращения с отходами не справляется с объемами их производства. Проблема обращения с отходами наиболее остро стоит в Центральном Федеральном округе (ЦФО), который занимает площадь более 650 тыс. км² и включает 18 областей. Это один из наиболее густонаселенных и индустриально развитых регионов России. В настоящее время на территории округа скопилось свыше 90 млрд т отходов. Существует более 1000 объектов размещения отходов — полигонов и свалок, причем основная их часть не включена в государственный реестр^{1,2,3}.

Один из путей решения проблемы отходов в Центральной России — создание ограниченного числа крупных производственных комбинатов, включающих мусорожигательный завод, предприятие по переработке отходов и полигон для захоронения [8, 18]. Такие комплексы существуют сейчас во многих развитых странах мира. Выбор участков для их размещения должен осуществляться на основании существующих санитарных правил, которые устанавливают ограничения и запреты на территории размещения полигонов в зависимости от удаленности от населенных пунктов и водных объектов, особенностей рельефа и геолого-гидрогеологических условий [21, 22, 27, 33].

Что касается геолого-гидрогеологических условий, перспективными для размещения полигонов являются территории, где в верхней части разреза залегают слабопроницаемые глинистые породы, а грунтовые воды находятся на глубине более 2 м. Наличие мощных глинистых толщ в верхней части разреза — это основное условие при оценке благоприятности территории для размещения предприятий утилизации отходов, так как они препятствуют поступлению загрязнения с поверхности в нижележащие водоносные горизонты. Как показывает опыт, нарушение этого

требования может привести к серьезным негативным экологическим последствиям [4, 5, 16].

Для территории ЦФО РФ был выполнен анализ условий естественной защищенности геологической среды от загрязнения, определены основные типы геолого-гидрогеологического строения, предложены критерии оценки степени благоприятности территорий для реализации комплексных проектов в сфере обращения с отходами.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛИГОНОВ И ПРЕДПРИЯТИЙ УТИЛИЗАЦИИ ТКО

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 толщ и подземные воды, значительно упрощает задачу сохранения благоприятной экологической обстановки в районах полигонов и предприятий утилизации ТКО. Глинистые толщ представляют собой такие природные барьеры. При инженерно-геологических исследованиях наличие мощных глинистых толщ в верхней части разреза — это основное условие оценки благоприятности территории для размещения предприятий утилизации отходов [2].

Основные позиции методологии оценки территории Центральной России приведены на рис. 1.

В геолого-структурном отношении ЦФО находится в пределах Русской платформы, где в верхней части геологического разреза залегают разновозрастные стратиграфо-литологические комплексы осадочных пород [1, 7, 13].

Все многообразие этих комплексов на глубину порядка 50–60 м было разделено на несколько типов в зависимости от литологии, возраста и степени обводненности дочетвертичных и четвертичных пород.

В формате MapInfo были созданы два вспомогательных информационных слоя, на одном из которых показаны комплексы дочетвертичных пород различной проницаемости и обводненности, на другом — комплексы четвертичных пород. Формальное наложение этих слоев позволило выделить различные сочетания, для каждого из которых был составлен типовой геологический разрез, где выделены слои различного возраста, литологического состава и проницаемости. Материалом для составления информационных слоев и разрезов послужили мелкомасштабные архивные геологические карты Центральной России и литературные источники. В этих работах

¹ Постановление Правительства РФ от 16.03.2016 № 197 “Об утверждении требований к составу и содержанию территориальных схем обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами”. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201603180009>.

² Территориальная схема обращения с отходами Московской области, в том числе с твердыми коммунальными отходами, утвержденная Постановлением Правительства Московской области 22.12.16 г., № 984/47. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456034634>.

³ Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ “Об отходах производства и потребления”. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi>.

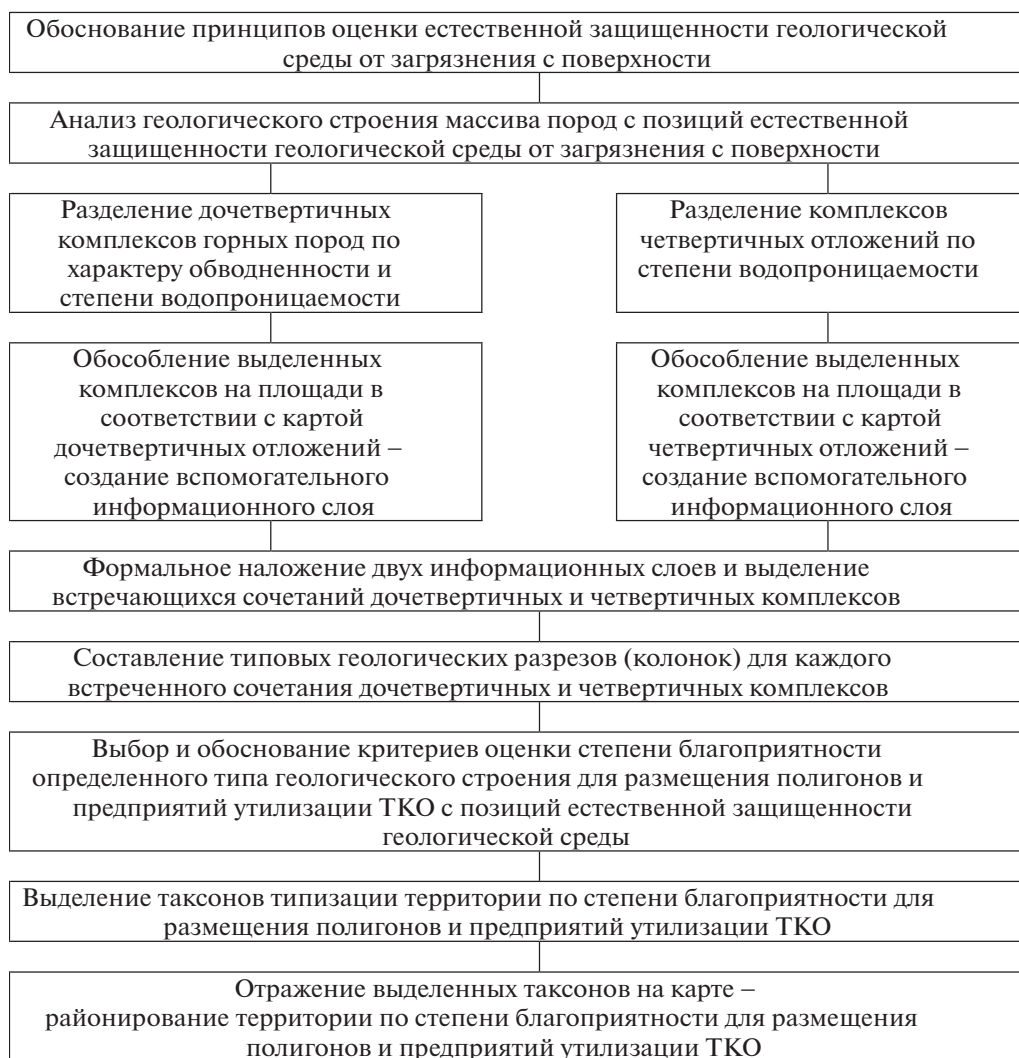


Рис. 1. Концептуальная модель инженерно-геологической оценки территории Центральной России для размещения полигонов и предприятий утилизации ТКО.

использованы карты ГИС – Атласа “Недра России” составленного ВСЕГЕИ и Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 [3, 12].

Каждый тип геологического строения (типовой геологический разрез) был отнесен к определенной категории благоприятности территории (таксону) в зависимости от наличия слабопроницаемых слоев четвертичного и дочетвертичного возраста и глубины их залегания.

Выделено 5 таксонов, охарактеризованные как благоприятные, условно благоприятные, условно неблагоприятные, неблагоприятные и весьма неблагоприятные с позиций реализации проектов, связанных с утилизацией ТКО. Оценка проводилась на основании изучения геологического строения и в зависимости от условий залегания слабопроницаемых отложений в верхней части разреза.

На итоговой карте районирования показаны контуры и индексы всех типов геологического строения, а цветом (по принципу светофора) выделены районы различных категорий благоприятности. Карта – достаточно информативный документ, позволяющий увидеть не только оценочные категории, но и обобщенную геологическую характеристику каждого таксона.

ОЦЕНКА ЕСТЕСТВЕННОЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Оценка естественной защищенности геологической среды от загрязнения, поступающего с поверхности, проводилась в зависимости от наличия в разрезе дочетвертичных и четвертичных отложений комплексов пород пониженной проницаемости, способных защитить геологическую

Таблица 1. Типы грунтовых толщ на карте инженерно-геологического районирования ЦФО

Дочетвертичные отложения	Четвертичные отложения			
	Пески, моренные суглинки, переслаивание песков и суглинков	Пески	Моренные суглинки, переслаивание песков и суглинков	Лессовидные суглинки и супеси
	1	2	3	4
Преимущественно пески и песчаники (К, Р, N) водоносные I	I-1	I-2	I-3	I-4
Мергели, мел (К) слабоводоносные и неравномерно обводненные II	II-1	II-2	II-3	II-4
Преимущественно глины (J) водоупорные III	III-1	III-2	III-3	
Аргиллиты, алевролиты, песчаники местами загипсованные, гипс (Р-Т) слабоводоносные и неравномерно обводненные IV	IV-1	IV-2	IV-3	
Известняки, доломиты с прослоями глин (D-C) водоносные V	V-1	V-2	V-3	V-4

среду от загрязнения, поступающего с поверхности.

Среди дочетвертичных отложений выделены:

- слабопроницаемые глинистые толщи юрского возраста;

- неравномерно проницаемые мел и мергели мелового возраста, алевролиты-аргиллитовые загипсованные породы и гипсы пермского и триасового возраста;

- хорошо проницаемые пески и песчаники неогенового, палеогенового и мелового возраста и терригенно-карбонатные породы девона и карбона.

Пространственное расположение этих комплексов отражено на первом вспомогательном информационном слое, созданном в формате MapInfo.

При анализе четвертичных толщ учитывалось наличие и положение в разрезе слабопроницаемых суглинков различных генетических типов [8, 9, 17]. Основной слабопроницаемый комплекс пород среди четвертичных отложений — моренные суглинки. На втором вспомогательном информационном слое выделены территории, где эти суглинки залегают с поверхности под аллювиальными и водно-ледниковыми песками. Вы-

делены также территории, где слабопроницаемые покровные суглинки и супеси имеют значительное распространение и мощность.

В результате наложения двух вспомогательных информационных слоев выявлено 18 типов грунтовых толщ в зависимости от стратиграфо-литологических особенностей и обводненности комплексов дочетвертичных и четвертичных отложений, которые стали основой для результирующего оценочного районирования территории по степени благоприятности для размещения предприятий и полигонов утилизации ТКО (табл. 1).

Для каждого из этих типов составлен обобщенный (типовой) геологический разрез (рис. 2), который иллюстрирует, как залегают породы выделенных комплексов, различающиеся по своей проницаемости. Выделяются водоносные и хорошо проницаемые породы, слабоводоносные и неравномерно обводненные породы, водоупорные или слабопроницаемые породы. На разрезах обводненность и проницаемость показаны цветом, стратиграфо-литологическая характеристика — крапом и штриховкой.

Итогом проведенных исследований стала типизации территории Центральной России по благоприятности для размещения объектов утилиза-

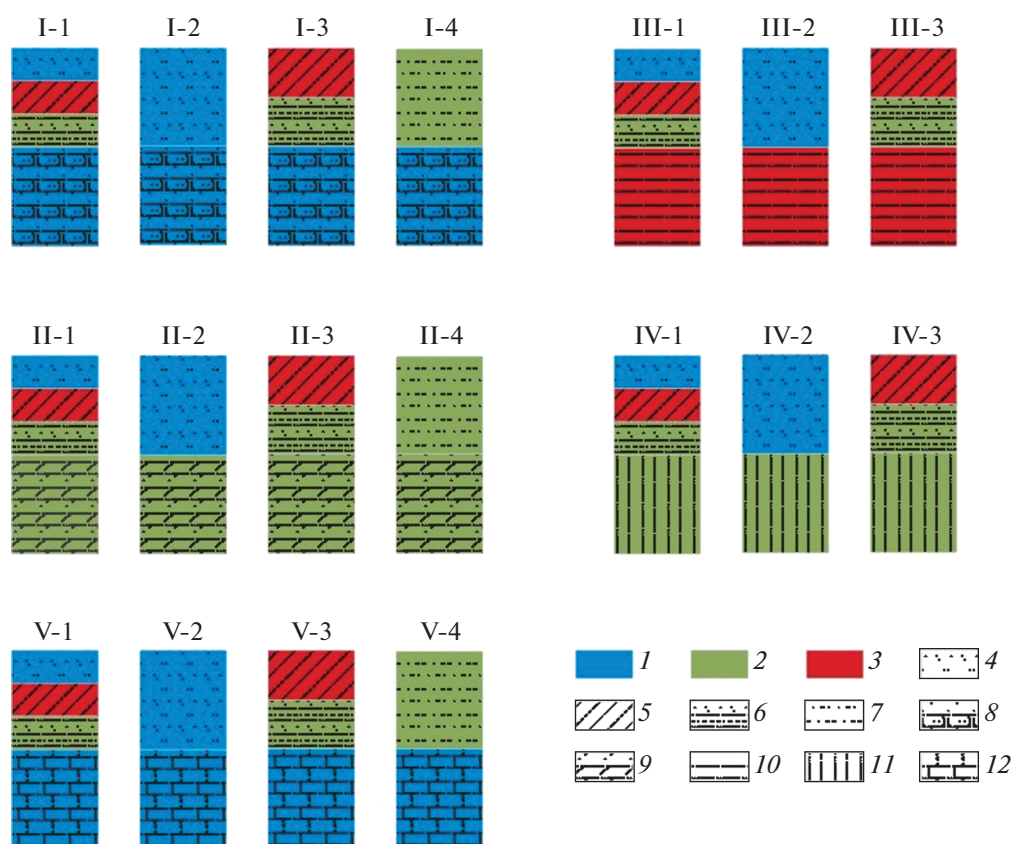


Рис. 2. Типовые геологические разрезы к карте инженерно-геологического районирования. Условные обозначения: 1 – водоносные и хорошо проницаемые породы, 2 – слабодонасыщенные и неравномерно обводненные породы, 3 – водоупорные породы. Четвертичные отложения: 4 – пески, 5 – моренные суглинки, 6 – переслаивание песков и суглинков, 7 – лессовидные суглинки и супеси. Дочетвертичные отложения: 8 – преимущественно пески и песчаники (К, Рg, N), 9 – мергели, мел (К), 10 – преимущественно глины (J), 11 – аргиллиты, алевролиты, песчаники местами загипсованные, гипс (Р–Т), 12 – известняки, доломиты с прослоями глин (D–C).

ции ТКО (табл. 2). На ее основе составлена в масштабе 1 : 2500000 обзорная карта инженерно-геологического районирования (рис. 3).

Благоприятными признаны массивы грунтов, в которых выделяются две водоупорные толщи – четвертичные моренные суглинки, залегающие у поверхности, и юрские глины. Таким образом, четвертичный и мезозойский водоносные комплексы оказываются изолированными друг от друга, а геологическая среда защищена от загрязнений, поступающих с поверхности. Эти районы выделены локально, преимущественно в северной части территории.

Условно благоприятными признаны территории, где с поверхности залегают моренные четвертичные суглинки, подстилаемые хорошо проницаемыми отложениями. На этих участках степень защищенности геологической среды от поверхностных загрязнений определяется мощностью моренных грунтов. Такие территории выделены на северо-западе территории и на водораздельных поверхностях в ее центре.

Условно неблагоприятными являются территории, где грунтовые толщ сложены песчано-глинистыми четвертичными отложениями без регионально выдержанных слабopроницаемых прослоев, подстилаемыми юрскими глинами. Здесь грунтовый водоносный горизонт подвержен загрязнению, а степень защищенности глубоких горизонтов определяется мощностью и глубиной залегания юрских глин. Такие районы отмечены в северной и восточной частях ЦФО.

Неблагоприятными признаны участки, где массив сложен хорошо проницаемыми четвертичными и дочетвертичными породами с локальным распространением слабopроницаемых слоев. Геологическая среда практически не защищена от загрязнений. К таким участкам относится большая часть территории на юго-западе и востоке ЦФО, с отдельными участками на севере.

Весьма неблагоприятными являются территории, где в геологическом строении отмечаются только хорошо проницаемые и водоносные отложения. Геологическая среда здесь не защищена от

Таблица 2. Типизация территории ЦФО по степени благоприятности для размещения полигонов и предприятий утилизации твердых коммунальных отходов в зависимости от инженерно-геологических условий

Степень благоприятности инженерно-геологических условий. Тип геологического строения	Особенности инженерно-геологических условий
Благоприятные III-3	В разрезе выделяются две водоупорные толщи пород: четвертичные моренные суглинки, залегающие с поверхности, и юрские глины, разделяющие четвертичный и мезозойский водоносные комплексы. Геологическая среда защищена от загрязнения, поступающего с поверхности.
Условно благоприятные I-3, II-3, IV-3, V-3	С поверхности залегают водоупорные четвертичные моренные суглинки, которые подстилаются хорошо проницаемыми и водоносными или слабо-водоносными и неравномерно обводненными четвертичными и дочетвертичными отложениями. Защищенность геологической среды от загрязнения определяется мощностью слоя морены.
Условно неблагоприятные III-1, III-2	Четвертичные отложения представлены песчано-глинистыми водоносными и слабо-водоносными неравномерно обводненными породами. Грунтовый водоносный горизонт не защищен от загрязнения. Четвертичная толща подстилается юрскими водоупорными глинами. Мезозойский водоносный комплекс защищен от загрязнения. Защищенность геологической среды определяется глубиной залегания и мощностью слоя юрских глин.
Неблагоприятные I-1, I-4, II-1, II-2, II-4, IV-1, IV-2, V-1, V-4	В разрезе выделяются хорошо проницаемые, водоносные, слабо-водоносные и неравномерно обводненные комплексы четвертичных и дочетвертичных пород. Можно выделить локальные участки распространения слабопроницаемых пород, невыдержанных по мощности и глубине залегания. Геологическая среда практически не защищена или слабо защищена от загрязнения.
Весьма неблагоприятные I-2, V-2	Четвертичные и подстилающие их дочетвертичные отложения представлены хорошо проницаемыми и водоносными комплексами пород. Геологическая среда не защищена от загрязнения, поступающего с поверхности.

поступающих с поверхности загрязнений. 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.

ПРИМЕНЕНИЕ КАРТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА УЧАСТКОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ТКО

В данном исследовании на примере Центральной России мы попытались показать, что геологические условия, как один из критериев при выборе участков для размещения ТКО, требуют отдельного специального анализа, так как обладают высокой пространственной изменчивостью. При их характеристике недостаточно просто отметить какие грунты залегают с поверхности в той или иной части территории и на какой глубине находятся грунтовые воды, как это делается обычно

при проведении районирования для выбора мест размещения отходов^{4,5}.

Оценочная типизация территории в зависимости от наличия в разрезе одного или нескольких слабопроницаемых слоев, залегающих относительно близко к поверхности и выделение таксонов по степени защищенности геологической среды или другими словами — благоприятности для размещения ТКО, позволяют учесть в общей оценке территории степень опасности загрязнения массива грунтов и подземных вод.

Карта инженерно-геологического районирования, составленная на основе разработанной ти-

⁴ Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. Утверждена Министерством строительства Российской Федерации 2 ноября 1996 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006959>

⁵ СанПиН 2.1.7.1038-01 Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов. Министерство здравоохранения Российской Федерации. 2001. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901789953>

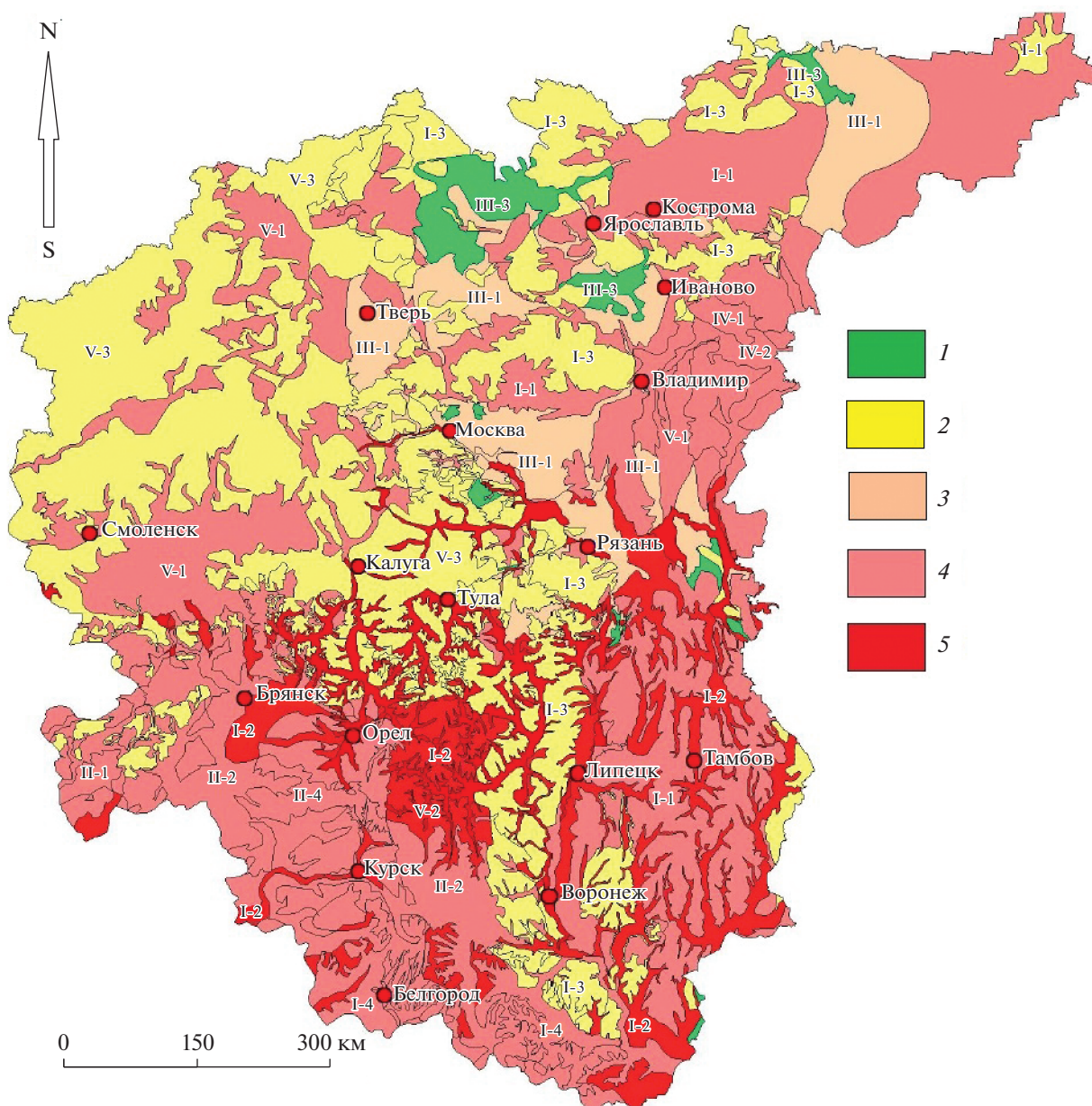


Рис. 3. Карта инженерно-геологического районирования ЦФО по условиям размещения предприятий и полигонов ТКО. Районы с различной степенью благоприятности инженерно-геологических условий: 1 – благоприятные, 2 – условно благоприятные, 3 – условно неблагоприятные, 4 – неблагоприятные, 5 – весьма неблагоприятные. Подробная характеристика районов в табл. 2.

пизации территории, дает общее представление о благоприятности планируемых мест размещения предприятий утилизации отходов на территории округа. Она составлена в цифровом формате и должна рассматриваться как информационный слой, который может быть интегрирован в общую ГИС, создаваемую по многокритериальному принципу с целью принятия решений по выбору мест размещения отходов. Таксонам типизации по степени благоприятности несложно дать балльную оценку, если требуется перейти к коли-

чественным методам многокритериального анализа.

Кроме того, карта районирования имеет значение и как самостоятельный документ, позволяющий оценить современное состояние проблемы обращения с отходами на территории Центральной России. Анализ карты показывает, что территории Курской и Белгородской областей полностью относятся к весьма неблагоприятной и неблагоприятной категории. То есть в пределах этих областей практически невозможно выделить

крупные участки, где грунтовые толщи характеризуются природными защитными свойствами, препятствующими поступлению загрязнения с поверхности. Для Брянской, Калужской, Орловской, Липецкой, Тамбовской, Воронежской, Рязанской, Владимирской и Костромской областей неблагоприятные и весьма неблагоприятные районы занимают более половины площади области.

Таким образом, в подавляющей части территории округа сооружение объектов обращения с отходами требует проведения дополнительных мероприятий по защите геологической среды от загрязнения. В настоящее же время многие полигоны и свалки на территории ЦФО размещены без какого-либо учета геологических условий и существует высокий риск загрязнения геологической среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований можно выделить основные позиции методологии оценки естественной защищенности геологической среды от загрязнения в рамках крупных экологических проектов по размещению предприятий утилизации ТКО:

— оценка благоприятности территории при выборе мест для размещения предприятий утилизации и полигонов захоронения ТКО должна обязательно учитывать степень естественной защищенности геологической среды от загрязнения;

— степень естественной защищенности геологической среды оценивается на основании наличия в геологическом разрезе одного или нескольких слабопроницаемых комплексов пород, препятствующих поступлению в подземные водоносные горизонты загрязнения с поверхности, мощности и глубины залегания этих комплексов;

— универсальным методом оценки естественной защищенности геологической среды больших по площади территорий служит инженерно-геологическое районирование, которое включает типизацию территорий по особенностям геолого-гидрогеологического строения, оценку благоприятности каждого выделенного типа и зонирование территории по степени благоприятности по геологическим критериям для размещения предприятий и полигонов утилизации ТКО.

В заключение необходимо отметить, что мелкомасштабные карты или схемы оценочного инженерно-геологического районирования способны дать общее представление о благоприятности планируемых мест размещения комплексов обращения с отходами. Они позволяют выделить возможные ключевые участки для дальнейших изысканий и дать общее представление об объемах необходимых дополнительных мероприятий по

защите геологической среды от загрязнений при строительстве и эксплуатации таких технических систем. Они должны использоваться на начальных этапах проектирования комплексов, связанных с утилизацией и складированием ТКО.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме НИР № гос. регистрации АААА-А19-119101890052-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология СССР. Т. 4. Центр Европейской части СССР. Геологическое описание. М.: Изд-во Недра, 1971. 742 с.
2. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 248 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаб 1:1000000. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.
4. Джамалов Р.Г., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Влияние полигона твердых бытовых отходов на качество подземных и поверхностных вод (на примере Владимирской области) // Сергеевские чтения: Вып. 20: Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2018 г.). М.: РУДН, 2018. С. 175–178.
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. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2018 г.). М.: РУДН, 2018. С. 65–73.
6. Зотов В.Б. Проблемы утилизации твердых бытовых отходов в Российской Федерации и пути их решения // Управление государственное, муниципальное и корпоративное: теория и лучшие практики: матер. I Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием / Под ред. А.Н. Гуда. 2016. С. 13–18.
7. Инженерная геология СССР. Т. 1. Русская платформа / Под ред. И.С. Комарова. М.: Изд-во МГУ, 1978. 527 с.
8. Кашперюк П.И., Макеева Т.Г., Аканов А.В., Никитина К.В., Подлесных А.И. Некоторые правовые и природоохранные вопросы формирования полигонов переработки и захоронения ТКО в Подмосковье // Сергеевские чтения. Вып. 20. Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2018 г.). М.: РУДН, 2018. С. 71–73.
9. Козлякова И.В., Кожевникова И.А., Анисимова Н.Г. Инженерно-геологическое районирование Центрального федерального округа России по условиям размещения предприятий и полигонов твердых

- бытовых отходов // Сергеевские чтения. Вып. 20. Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2018 г.). М.: РУДН, 2018. С. 74–77.
10. Осипов В.И. Управление твердыми коммунальными отходами как федеральный экологический проект // Геоэкология. 2019. № 3. С. 3–11.
 11. Осипов В.И., Мамаев Ю.А., Козлякова И.В. Территориальное размещение полигонов твердых коммунальных отходов // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 6. С. 567–574.
 12. Пакет оперативной геологической информации (ГИС-Атлас) Центральный федеральный округ. ВСЕГЕИ. 2018. URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru/>
 13. Природные опасности России. Экзогенные геологические опасности / Под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко, М.: Изд-во “Крук”, 2002. 348 с.
 14. Хмельченко Е.Г. Твердые бытовые отходы и способы решения проблемы их утилизации в России // Государство, власть, управление и право: история и современность. Матер. 8-й Всерос. научно-практ. конф. 2017. С. 192–195.
 15. Хмельченко Е.Г. Проблемы утилизации твердых коммунальных отходов в Российской Федерации и пути их решения // Муниципальная академия. 2018. № 2. С. 110–114.
 16. Хмельченко Е.Г., Казакова И.Г., Богомолов Ю.Г., Савельев А.Ф., Медовар Ю.А. О влиянии полигона твердых коммунальных отходов на качество подземных вод в Московской и Владимирской областях // Муниципальная академия. 2018. № 3. С. 55–62.
 17. Экзарьян В.Н. Геоэкология и охрана окружающей среды. М.: Изд. “Щит-М”, 2009.
 18. 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. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2018 г.). М.: РУДН, 2018. С. 97–101.
 19. 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>
 20. Cremiato, R., Mastellone, M.L., Tagliaferri, C., Zaccariello, L., Lettieri, P. Environmental impact of municipal solid waste management using life cycle assessment: the effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production // Renewable Energy. Elsevier. 2018. V. 124(C). P. 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.033>
 21. Deswal, M., Laura, G.S. GIS based modeling using Analytic Hierarchy Process (AHP) for optimization of landfill site selection of Rohtak city, Haryana (India) // Journal of Applied and Natural Science. 2018. 10 (2): 633–642.
 22. 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>
 23. 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. V. 76. P. 68. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6392-4>
 24. Guler, D., Yomralioglu, T. Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul // Environmental Earth Sciences. October 2017. 76: 678. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7039-1>
 25. Khan, D, Samadder, S.R. Municipal solid waste management using geographical information system aided methods: a mini review // Waste Manag. Res. 2014. 32:1049–1062.
 26. Khodaparast, M., Rajabi, Ali M., Edalat, Ali. Municipal solid waste landfill siting by using GIS and analytical hierarchy process (AHP): a case study in Qom city, Iran // Environmental Earth Sciences, January 2018. № 77. P. 52. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7215-3>
 27. Kontos, T.D., Komilis, D.P., Halvadakis, C.P. () Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology // Waste Management. 2005. № 25. P. 818–832.
 28. Maguiri Abdelhakim El, Kissi Benaissa, Idrissi Laila, Souabi Salah. Landfill site selection using GIS, remote sensing and multicriteria decision analysis: case of the city of Mohammedia, Morocco // Bull. Eng. Geol. Environ. 2016. № 75. P. 1301–1309. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0889-z>
 29. Nakhaei, M., Amiri, V., Rezaei, K., Moosae, F. An investigation of the potential environmental contamination from the leachate of the Rasht waste disposal site in Iran // Bull. Eng. Geol. Environ. 2015. № 74. P. 233–246. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0577-9>
 30. Ogola, J.S., Chimuka, L., Tshivhase, S. Management of Municipal Solid Wastes: A Case Study in Limpopo Province, South Africa Integrated // Waste Management. V. I. 2011. P. 91–112. Available at: www.intechopen.com
 31. Rahmat, Z.G., Niri, M.V., Alavi, N. et al. Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran // KSCE Journal of Civil Engineering. January 2017. V. 21. № 1. P. 111–118. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0296-9>
 32. Yannah, M., Martens, K., Van Camp, M., Walraevens, K. Geophysical exploration of an old dumpsite in the perspective of enhanced landfill mining in Kermt area, Belgium // Bull. EngGeol Environ. 2019. 78: 55–67. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1169-2>
 33. Zelenović Vasiljević, T., Srdjević, Z., Bajčetić, R. et al. GIS and the Analytic Hierarchy Process for Regional Landfill Site Selection in Transitional Countries: A Case Study From Serbia // Environmental Management. February 2012. V. 49. № 2. P. 445–458. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9792-3>

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF ASSESSING GEOENVIRONMENT FOR ALLOCATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT FACILITIES

I. V. Kozliakova^{a, #}, I. A. Kozhevnikova^a, O. N. Eremina^{a, ##}, and N. G. Anisimova^a

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

[#] *E-mail: kozlyakova@rambler.ru*

^{##} *E-mail: o_eremina@mail.ru*

The adequate selection of sites for temporary storage, processing and disposal of municipal solid waste (MSW) implies that the constructed facilities do not become a new source of anthropogenic contamination of the environment. To meet this condition, it necessary to perform the preliminary engineering geological zoning of territories. This zoning should be based on the comprehensive investigation of the geological environment for assessing the degree of its protection from contamination. The paper discusses the methodological issues of geoenvironment typification and suggests the criteria for territory zoning by the degree of engineering geological conditions favorability for the allocation of municipal solid waste management facilities. The zoning scheme is based on the presence of low permeable deposits in geological structure and on their occurrence specifics. By the example of the Central Russia territory, the principal types of geological and hydrogeological structure are distinguished, and the Map of engineering geological zoning of Central Federal okrug of Russian Federation by the conditions of allocation of MSW facilities and disposal sites has been compiled to a scale 1:2500000. This map proves that for the bulk of the areas, it is necessary to undertake additional measures for geological environment protection from contamination.

Keywords: *municipal solid wastes, engineering geological conditions, methodology of typifying geoenvironment, engineering geological zoning, geoenvironment protection, Central Federal okrug, allocation of waste management facilities*

REFERENCES

1. *Geologiya SSSR. Tom 4. Tsentral'noyevropeiskoy chasti SSSR. Geologicheskoe opisanie* [Geology of the USSR. Volume 4. Centre of the European part of the USSR. Geological description]. Moscow, Nedra Publ., 1971, 742 p. (in Russian)
2. Gol'dberg, V.M. *Vzaimosvyaz' zagryazneniya podzemnykh vod i prirodnoy sredy* [Relationship between the contamination of groundwater and the environment. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, 248 p. (in Russian)]
3. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii mashtab 1:1000000* [State Geological map of the Russian Federation, scale 1:1000000]. VSEGEI. 1999 (in Russian)
4. Dzhamalov, R.G., Medovar, Yu.A., Yushmanov, I.O. *Vliyaniye poligona tverdykh bytovykh otkhodov na kachestvo podzemnykh i poverkhnostnykh vod (na primere Vladimirskoy oblasti)* [The influence of municipal solid waste disposal site on the quality of ground- and surface water (by the example of Vladimir oblast)]. *Sergeevskie chteniya*, issue 20. Proceedings of the Sci. Conference March 22, 2018, Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 175-178. (in Russian)
5. Zaikanov, V.G., Zaikanova, I.N., Buldakova, E.V. *Geoekologicheskii i landshaftno-ekologicheskii analiz syshchestvuyushchikh svalok TBO Moskovskoy oblasti* [Geoecological and landscape ecological analysis of landfill sites in Moscow oblast]. *Sergeevskie chteniya*, issue 20. Proceedings of the Sci. Conference March 22, 2018, Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 65-73 (in Russian)
6. Zotov, V.B. *Problemy utilizatsii tverdykh bytovykh otkhodov v Rossiiskoi Federatsii i puti ikh resheniya* [Problems of utilization of solid domestic waste in the Russian Federation and ways to solve them]. In: State, Municipal and Corporate Governance: Theory and Best Practices. Materials of the first All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. A.N. Gud, Ed., 2016, pp. 13–18. (in Russian)
7. *Inzhenernaya geologiya SSSR. Tom 1. Russkaya platforma* [Engineering geology of the USSR, Vol. 1. The Russian Platform]. I.S. Komarov, Ed., Moscow, Mosk. Univ. Publ., 1978, 527 p. (in Russian)
8. Kashperuk, P.I., Makeeva, T.G., Akanov, A.V., Nikitina K.V., Podlesnykh, A.I. *Nekotorye pravovye i prirodookhrannyye voprosy formirovaniya poligonov pererabotki i zakhoroneniya TKO v Podmoskov'e* [Some legislative and nature-conservation issues in the arrangement of MSW reprocessing and disposal sites in the Moscow region]. *Sergeevskie chteniya*, issue 20. Proceedings of the Sci. Conference March 22, 2018, Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 71–73 (in Russian)
9. Kozlyakova, I.V., Kozhevnikova I.A., Anisimova N.G. *Inzhenerno-geologicheskoe raionirovaniye Tsentra'nogo federal'nogo okruga Rossii po usloviyam razmeshcheniya predpriyatii i poligonov tverdykh bytovykh otkhodov* [Engineering geological zoning of the Central Federal okrug in Russia by the conditions for allocation of MSW storage sites and processing facilities]. *Sergeevskie chteniya*, issue 20. Proc. of the Sci. Conference March 22, 2018, Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 74-. (in Russian)
10. Osipov, V.I. *Upravleniye tverdymi kommunal'nymi otkhodami kak federal'nyi ekologicheskii projekt* [Management of municipal solid waste as a Federal ecological

- project]. *Geoekologiya*, 2019, no. 3, pp. 3–11. (in Russian)
11. Osipov, V.I., Mamaev, Yu.A., Kozlyakova, I.V. Territorial placement of solid municipal waste landfills. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2020, vol. 90, no. 3, pp. 338–344.
 12. *Paket operativnoi geologicheskoi informatsii* [GIS atlas of current geological information, Central Federal okrug]. VSEGEI, <http://atlaspacket.vsegei.ru> (in Russian)
 13. *Prirodnye opasnosti Rossii. Ekzogennnye geologicheskie opasnosti* [Natural hazards in Russia. Exogenous geological hazards]. V.M. Kutepov, A.I. Sheko, Eds. Kruk Publ., 2002, 348 p. (in Russian)
 14. Khmelchenko, E.G. *Tverdye bytovye otkhody i sposoby resheniya problem ikh utilizatsii v Rossii* [Solid household waste and ways to solve the problem of their utilization in Russia]. In: The state, power, management and law: history and contemporaneity. Proc. the 8th All-Russian Sci. and Practical Conf., 2017, pp. 192–195. (in Russian)
 15. Khmelchenko, E.G. *Problemy utilizatsii tverdykh kommunal'nykh otkhodov v Rossiiskoi Federatsii i puti ikh resheniya* [Problems of utilization of solid municipal waste in the Russian Federation and ways to solve them]. *Munitsipal'naya akademiya*, 2018, no. 2, pp. 110–114. (in Russian)
 16. Khmelchenko, E.G., Kazakova, I.G., Bogomolov, Yu.G., Savel'ev, A.F., Medovar, Yu.A. O vliyaniy poligona tverdykh kommunal'nykh otkhodov na kachestvo podzemnykh vod v Moskovskoi i Vladimirskoi oblasti [On the influence of solid utility waste on the quality of underground water in the Moscow and Vladimir regions]. *Munitsipal'naya akademiya*, 2018, no. 3, pp. 55–62. (in Russian)
 17. Ekzaryan, V.N. *Geoekologiya i okhrana okruzhayushchei sredy* [Geoecology and the environment conservation]. Moscow, Shchit-M Publ., 2009. (in Russian)
 18. Ekzaryan, V.N. *Metodologicheskie osnovy raionirovaniya territorii dlya vybora mest razmeshcheniya poligonov otkhodov* [Methodological fundamentals of zoning territories for selecting places for the waste storage sites. Sergeevskie chteniya, issue 20. Proceedings of the Sci. Conference March 22, 2018, Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 97–101. (in Russian)
 19. Yuganova, T.I. *Vybor uchastkov dlya razmeshcheniya ob'ektov obrashcheniya s otkhodami na osnove metodov mnogokriterial'nogo prinyatiya reshenii* [Selection of sites for allocation of waste disposal objects based on the multicriteria decision-making methods]. *Geoekologiya*, 2019, no.4, pp. 79–93. (in Russian)
 20. Cremiato, R., Mastellone, M.L., Tagliaferri, C., Zaccariello, L., Lettieri, P. Environmental impact of municipal solid waste management using life cycle assessment: the effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. *Renewable Energy*, Elsevier, 2018, vol. 124(C), pp. 180–188.
 21. Deswal, M., Laura, G.S. GIS based modeling using Analytic Hierarchy Process (AHP) for optimization of landfill site selection of Rohtak city, Haryana (India). *Journal of Applied and Natural Science*, 2018, no. 10(2), pp. 633–642.
 22. 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.
 23. 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, vol. 76, p. 68.
 24. Guler, D., Yomralioglu, T. Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, 2017, vol. 76, p. 678.
 25. Khan, D., Samadder, S.R. Municipal solid waste management using geographical information system aided methods: a mini review. *Waste Manag Res.*, 2014, no. 32, pp. 1049–1062.
 26. Khodaparast, Mahdi, Rajabi, Ali M., Edalat, Ali. Municipal solid waste landfill siting by using GIS and analytical hierarchy process (AHP): a case study in Qom city, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 2018, no. 77, p. 52.
 27. Kontos, T.D., Komilis, D.P., Halvadakis, C.P. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management*, 2005, no. 25, pp. 818–832.
 28. Maguiri Abdelhakim El, Kissi Benaissa, Idrissi Laila, Souabi Salah. Landfill site selection using GIS, remote sensing and multicriteria decision analysis: case of the city of Mohammedia, Morocco. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 2016, no. 75, pp. 1301–1309.
 29. Nakhaei, M., Amiri, V., Rezaei, K., Moosae, F. An investigation of the potential environmental contamination from the leachate of the Rasht waste disposal site in Iran. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 2015, no. 74, pp. 233–246.
 30. Ogola, J.S., Chimuka, L., Tshivhase, S. Management of Municipal Solid Wastes: A Case Study in Limpopo Province. *South Africa Integrated Waste Management*, 2011, vol. 1, pp. 91–112.
 31. Rahmat, Z.G., Niri, M.V., Alavi, N. et al. Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2017, vol. 21, is. 1, pp. 111–118.
 32. Yannah, M., Martens, K., Van Camp, M., Walraevens, K. Geophysical exploration of an old dumpsite in the perspective of enhanced landfill mining in Kermt area, Belgium. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 2019, no.78, pp. 55–67.
 33. Zelenović Vasiljević, T., Srdjević, Z., Bajčetić, R. et al. GIS and the Analytic Hierarchy Process for Regional Landfill Site Selection in Transitional Countries: A Case Study From Serbia. *Environmental Management*, 2012, vol. 49, is. 2, pp. 445–458.