

УДК 628.4.02

ПРОБЛЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ОЦЕНКА РИСКА НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РОССИИ

© 2022 г. В. Н. Бурова^{1,*}, И. В. Козлякова^{1,**}, О. Н. Еремина¹

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

*E-mail: valentina_burova@mail.ru

**E-mail: ivk.geoenv@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.08.2022 г.

После доработки 01.09.2022 г.

Принята к публикации 05.09.2022 г.

На основании проведенного анализа отечественных и зарубежных научных исследований, направленных на решение проблемы безопасного размещения твердых коммунальных отходов (ТКО), показано, что недостаточно внимания уделяется предварительной оценке риска территорий в связи с размещением объектов ТКО. Разработаны методические принципы оценки интегральной природно-техногенной опасности и риска территорий административных субъектов Центрального Федерального округа России (ЦФО) от расположенных там санкционированных и несанкционированных объектов твердых коммунальных отходов. Факторы, отвечающие за формирование риска, включают как природную, так и техногенно-социальную составляющие, в качестве которых для целей и в масштабе данного исследования выбраны: геологическое строение массива, опасные природные (гидрометеорологические) процессы, число полигонов и свалок ТКО в конкретной административной области, плотность населения. Сравнительная качественная характеристика геологического риска как величины вероятного экономического и социального ущерба от негативного воздействия объектов ТКО на геологическую среду подсчитана в баллах для каждой из 17 областей ЦФО. Выполненная оценка носит обзорный характер и предназначена для органов федерального управления, планирующих инвестиции в решение проблемы размещения отходов в России.

Ключевые слова: размещение твердых коммунальных отходов, полигоны ТКО, оценка природно-техногенной опасности, геологический риск, геологическое строение массива, опасные природные процессы, ЦФО РФ

DOI: 10.31857/S0869780922060030

ВВЕДЕНИЕ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ТКО

В настоящее время обращение с отходами производства и потребления в целях предотвращения их вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека, а также вовлечение таких отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья, является актуальной проблемой не только в России, но и во всем мире. Особое внимание специалистов уделяется разработке способов безопасной утилизации и захоронения отходов, оценке экологического состояния территорий и влияния объектов размещения отходов на окружающую среду и социум [12]. Согласно Федеральному закону РФ “Об отходах производства и потребления” № 89-ФЗ от 24.06.1998 г. с внесенными в последующие го-

ды изменениями и дополнениями¹, “под объектом размещения (захоронения или хранения) отходов понимается специально оборудованное сооружение, которое обустроено в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и предназначено для долгосрочного (более 11 месяцев) складирования отходов в целях их последующей утилизации, обезвреживания, захоронения”. Хранение отходов потребления (ТКО) производится на санитарных полигонах, на которых обеспечивается соблюдение технологии складирования, предусмотрено наличие инженерных сооружений и осуществляется контроль влияния на объекты

¹ Федеральный Закон “Об отходах производства и потребления” № 89-ФЗ от 24.06.1998 (ред. от 29.07.2018). <http://www.kremlin.ru/acts/bank/12555>.

окружающей среды в соответствии с требованиями нормативных документов².

Однако на практике в России, помимо таких специально оборудованных полигонов ТКО, отвечающих нормативным требованиям, существуют иные категории объектов размещения ТКО [15]:

1) санкционированные необорудованные захоронения ТКО, которые хотя и введены в эксплуатацию с соблюдением нормативов размещения объекта по санитарным и геолого-гидрологическим критериям (при размещении отходов проводится послойное уплотнение, в некоторых случаях, без изоляции слоев, окончательная засыпка рабочей поверхности захоронения завершает эксплуатацию объекта), но при этом регулярные наблюдения за полигоном не проводятся;

2) стихийные свалки, образованные без проведения инженерно-экологических изысканий на территории, отведенной под размещение отходов, и минимальными экономическими затратами на этапах эксплуатации и закрытия объекта; отходы размещены насыпью без уплотнения и изоляции, а само захоронение и зона его влияния в течение длительного времени не контролируются;

3) замусоренные территории, часто возникающие стихийно в понижениях рельефа.

По данным Росприроднадзора, число специально обустроенных полигонов захоронения ТКО в 5 раз меньше, чем санкционированных свалок. Число несанкционированных свалок в 2.5 раза превышает количество санкционированных объектов захоронения отходов. [8, 17]. По подсчету аналитической службы аудиторско-консалтинговой сети FinExpertiza, только в 2021 г. количество несанкционированных свалок ТКО увеличилось в России на 9.1%, или на 1.33 тыс. объектов в 56 из 85 российских регионов³.

Стихийно возникающие свалки и замусоренные территории, не отвечающие нормативным правилам организации и эксплуатации объектов ТКО, представляя собой серьезные источники опасности для окружающей природной среды и социума. По мнению исследователей, их следует расценивать как уже накопленный экологический ущерб [8]. Но и оборудованные полигоны захоронения ТКО следует рассматривать как природно-технические системы, представляющие угрозу экологической и социальной безопасности и относящиеся к объектам повышенного риска.

Полигоны захоронения ТКО претерпевают значительные изменения за время их существования и развиваются по различным сценариям [11]. Но даже при условии прохождения этих сценариев в штатном режиме всегда генерируются многочисленные риски [3, 9]. А.А. Музалевский отмечает, что наиболее опасными по уровню социальных и экологических последствий являются сценарии, связанные с фильтрацией содержимого полигонов в подземные и поверхностные воды, а также с загрязнением атмосферного воздуха. При этом, по мнению автора, опасность представляют как существующие, так и старые засыпанные полигоны [10].

Как следует из анализа отечественной и зарубежной научной литературы, в настоящее время исследования, связанные с проблемами размещения ТКО, ведутся в основном по двум направлениям:

1. *Выбор подходящих мест для будущего размещения полигонов ТКО или предприятий по их утилизации.* Сложность проблемы обусловлена, прежде всего, ее мультидисциплинарным характером с большим числом социально-экономических, технологических и экологических аспектов. В последние десятилетия развитие ГИС-технологий и инструментов многокритериального анализа позволило привлечь этот математический аппарат для решения вопроса о выборе мест размещения объектов обращения с отходами. Выбор мест безопасного размещения ТКО проводится с учетом многих факторов на базе метода анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process, АНП), предложенного Т. Саати [16], который уже более 30 лет широко применяется в самых различных областях. Многокритериальный метод анализа иерархий сводит комплексную многофакторную проблему к последовательности парных сравнений, которые выявляют вклад разных факторов и их веса, а затем синтезируются в матрицу взаимодействия [20]. Такой подход хорошо зарекомендовал себя во многих странах мира, доказав высокую эффективность в нахождении разумного решения. Исследования при этом ведутся, как правило, в крупном масштабе, на уровне выбора площадок и сводятся к сравнению альтернативных вариантов расположения объектов ТКО [22, 23, 26, 33]. Реже многофакторному анализу на региональном уровне подвергается обширная территория для предварительного оконтуривания перспективных участков расположения объектов ТКО. Такие исследования подразумевают построение карт на основе ГИС путем наложения тематических слоев, включающих данные по социальному (демографическому), экономическому (тип землепользования, характер застройки, степень хозяйственного освоения территорий) и природному (гидрологические, геоморфологические, геологические условия) блокам. Выбор

² СП 320.1325800.2017. Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация. М.: Стандартинформ, 2018. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739224.htm> (дата обращения 15.08.2022).

³ <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2022/kol-stikh-sval-vyroslo/> (дата обращения 15.08.2022).

участков для размещения объектов обращения ТКО осуществляется 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. Последовательное наложение ограничений позволяет оконтурить оставшиеся после исключения из рассмотрения участки. Построение таких карт в масштабах 1:25 000–1:100 000 выполнено для различных регионов земного шара, например, для окрестностей индийского города Гухаати [30]; для муниципалитета Панчево [25] и региона Срем [34] в Сербии; для окрестностей Стамбула [27], для различных регионов Ирана [28, 31] и др.

2. *Оценка опасности и риска существующих свалок и полигонов ТКО.* При исследованиях в этом направлении как в нашей стране, так и за рубежом разрабатываются методики определения экологических рисков воздействия уже существующих свалок, в том числе старых, на разные компоненты окружающей среды и человека [21, 24, 29]. Такие методики часто основаны на балльной оценке по группам критериев, учитывающих территориальное размещение объектов, геологические и гидрологические условия среды, техническое обеспечение объектов и т.д. [17, 32]. Так, например, оценке опасности свалок на территории Краснодарского края посвящена работа А.В. Погорелова и Д.А. Липилина [15]. Исследователи провели анализ площадного распределения свалок и полигонов складирования ТБО, ранжируя их по критерию площади (мелкие, средние, крупные) и степени опасности воздействия на ландшафтную среду. Современное геоэкологическое состояние свалок и полигонов твердых бытовых отходов Московской области изучали сотрудники НИУ МГСУ [2]. Г.В. Ильных, В.Н. Коротаев, Я.И. Вайсман (ФГБОУ ВПО «ПНИПУ») предложили алгоритм оценки экологической нагрузки на объекты окружающей среды путем расчета предотвращенного экологического ущерба при реализации различных технологий обращения с ТКО на основании данных об их составе [5].

Примеров подобных исследований, проводимых для конкретных объектов ТКО, много. Меньше внимания уделяется региональной оценке опасности и риска территорий, находящихся под воздействием свалок и полигонов ТКО. В этом направлении проводятся исследования в лаборатории геоэкологии г. Москвы и городских агломераций ИГЭ РАН, коллективом которой разрабатываются методические подходы к оценке опасности в связи с расположенными там свалками ТКО на основе геоэкологического и ландшафтно-экологического анализа Московской области [4]. В основу анализа положено райони-

рование по геоморфологическому признаку: территория Московской области разделена на 5 физико-географических провинций, рельеф и геологическое строение которых во многом определяют условия функционирования свалок ТБО.

Таким образом, анализ публикаций показывает, что, несмотря на значительное число работ, посвященных различным аспектам проблемы размещения полигонов ТКО, региональной оценке риска территорий от уже существующих там санкционированных и несанкционированных объектов ТКО уделяется недостаточно внимания. Исследования проводятся, как правило, в крупном масштабе, либо для изучения экологического воздействия существующих свалок, либо для сравнения альтернатив при выборе мест будущего размещения объектов обращения с отходами. Практически нет работ, посвященных картографированию природно-техногенного риска территорий. Между тем предварительный риск-анализ обширных территорий в мелком масштабе с целью оценки их экологического неблагополучия с учетом существующих свалок представляет собой на сегодняшний день важную задачу.

Ранее авторами были разработаны методологические принципы ранжирования территорий и проведена типизация административных областей Центрального Федерального округа России (ЦФО) по степени благоприятности инженерно-геологических условий для размещения объектов обращения с твердыми коммунальными отходами [6, 7, 14]. Типизация выполнена на основании 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. Проведенная типизация является основой для актуального использования оцениваемой территории при размещении ТКО в будущем с минимальными потерями в различных средах: природной, социальной и экономической.

Но, несомненно, весьма важно иметь представление о том, какую опасность несет в себе современное состояние исследуемых территорий, на которых уже расположены объекты захоронения ТКО, несанкционированные свалки, замусоренные территории, выраженное в показателях риска, как наиболее понятного и специалистам, и лицам, принимающим решения.

В данной статье на примере ЦФО изложена разработанная методика сравнительной оценки интегральной природно-техногенной опасности и природно-техногенно-социального риска от существующих объектов размещения ТКО.

ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РИСКА

Риск, в соответствии с общепринятым методологическим подходом, существует и оценивается при наличии источника опасности и объекта (реципиента), на который эта опасность воздействует [13]. Первоочередная задача сводится к определению источников и реципиентов опасности, а также алгоритма их взаимодействий, т.е. необходимо обозначить определенный уровень информационного описания территории, отвечающий поставленной цели и масштабу исследований.

В качестве конечного таксона оценки риска, связанного с существующими полигонами ТКО, а также санкционированными и несанкционированными свалками, в пределах ЦФО были использованы субъекты округа. В ЦФО входят 17 областей и город федерального значения (Москва). Оценка риска территорий была проведена для областей. На наш взгляд, Москва требует специальных подходов для оценок риска, так как резко отличается от других субъектов и по площади, и по количеству жителей, которые представляют параметры, обуславливающие формирование риска и его оценку.

Для данного исследования, направленного на оценку риска территорий субъектов в пределах ЦФО, информационный уровень (факторы, обуславливающие формирование риска) должны характеризовать как природную, так и техногенно-социальную составляющие исследуемой территории. Среди этих факторов наиболее значимыми в рамках масштаба исследований (1:2 500 000) представляются следующие.

1. Характеристика территории ЦФО по степени благоприятности инженерно-геологических условий для размещения объектов обращения с ТКО.

2. Данные о полигонах размещения ТКО, несанкционированных свалках, замусоренных территориях. Прежде всего их количество и места расположения (территории с определенной степенью благоприятности).

3. Данные об опасных процессах, распространенных в пределах таксонов оценки риска, охарактеризованные через их количество и интенсивность проявления, способные приводить к нештатной ситуации в пределах расположения ТКО.

4. Характеристика таксонов оценки риска по плотности населения как основного объекта, на который воздействует рассматриваемая опасность.

Факторы 1–3 характеризуют потенциальную интегральную природно-техногенную опасность территории, фактор 4 является реципиентом этой интегральной опасности. Исходя из перечисленных выше факторов формирования риска, его можно охарактеризовать как природно-техноген-

но-социальный, который представлен в условных единицах (баллах) [13].

Для оценки риска предложенные факторы его формирования необходимо ранжировать по степени значимости и оценить по балльной шкале. Так как у нас нет данных о закономерностях влияния того или иного предложенного фактора формирования риска на величину негативных последствий, предлагается каждому фактору присвоить баллы от 1 до 30 в зависимости от степени его влияния на величину риска, определяемой на основании экспертных предположений. Такой диапазон значений баллов обусловлен значительной разницей влияния факторов на формирование риска.

Анализ *благоприятности инженерно-геологических условий для размещения* полигонов захоронения ТКО, проведенный по разработанной ранее методике районирования территорий [6, 7, 14], показал, что подавляющая часть территории ЦФО в различной степени неблагоприятна по инженерно-геологическим критериям для размещения ТКО, и поэтому при строительстве полигонов требуется проведение дополнительных мероприятий по защите геологической среды от загрязнения.

В пределах многих областей практически нет участков, где грунтовые толщи обладают природными защитными свойствами, препятствующими поступлению загрязнения с поверхности, например, в четырех областях (Белгородская, Курская, Орловская и Тамбовская) более 90% территорий характеризуются отсутствием природных защитных свойств.

Исходя из распределения грунтовых толщ на территории ЦФО, целесообразно при оценках риска разделить территорию субъектов округа (S_0) на две части S_1 и S_2 , относящиеся к территориям с различной степенью благоприятности инженерно-геологических условий для размещения полигонов захоронения ТКО:

S_1 – территории весьма неблагоприятные, неблагоприятные и условно неблагоприятные, которым присвоено 30 баллов;

S_2 – условно благоприятные и благоприятные, им присвоено 10 баллов.

Для дальнейших расчетов были просчитаны площади, относящиеся к различной степени благоприятности в соответствии со схемой, разработанной ранее (табл. 1).

Итоговая оценка опасности *по степени благоприятности* отдельных административных субъектов ЦФО определяется по формуле:

$$B_o = \frac{30S_1 + 10S_2}{S_0}.$$

Таблица 1. Распределение районов с различной степенью благоприятности инженерно-геологических условий для ЦФО

№ п/п	Наименование субъекта	Площадь субъекта, S_0 , тыс. км ²	Площадь ВН, Н и УН* районов, S_1 , тыс. км ² /%	Площадь УБ, и Б* районов, S_2 , тыс. км ² /%	Суммарные баллы, B_o
1	Белгородская	27.27	26.38/97	0.89/3	29
2	Брянская	34.86	31.14/89	3.72/11	28
3	Владимирская	29.08	24.84/85	4.24/15	27
4	Воронежская	52.09	38.12/73	13.97/27	25
5	Ивановская	21.43	15.40/72	6.03/28	24
6	Калужская	29.70	23.29/78	6.41/22	26
7	Костромская	60.21	50.89/84	9.32/16	27
8	Курская	30.00	29.16/97	0.84/3	29
9	Липецкая	23.98	14.29/60	9.69/40	22
10	Московская	46.81	26.41/56	20.40/44	21
11	Орловская	24.65	22.78/95	1.87/5	28
12	Рязанская	39.61	30.37/77	9.24/23	25
13	Смоленская	49.22	21.30/43	27.92/57	18
14	Тамбовская	34.28	32.26/94	2.02/6	29
15	Тверская	84.00	27.71/33	56.29/67	17
16	Тульская	25.68	10.71/41	14.97/59	18
17	Ярославская	36.20	18.1/50	18.10/50	20

* ВН – весьма неблагоприятные, Н – неблагоприятные, УН – условно неблагоприятные, УБ – условно благоприятные, Б – благоприятные.

Например, для Белгородской обл. 97% площади отнесены к весьма неблагоприятным, неблагоприятным и условно неблагоприятным и только 3% – к условно благоприятным и благоприятным: $30 \times 0.97 + 10 \times 0.03 = 29.4$.

На территории ЦФО расположено порядка 500 различных объектов загрязнения в виде полигонов захоронения, свалок и т.п. В настоящее время существует множество документов СанПиН, СНиП, ФЗ 89 и др., регламентирующих устройство и деятельность санкционированных свалок. Анализ объектов захоронения ТКО на территории ЦФО показал, что большинство из них не отвечают современным нормам организации и эксплуатации полигонов ТКО. Предыдущие исследования также подтверждают тот факт, что в России в подавляющем большинстве случаев такие объекты появлялись стихийно в отработанных карьерах, различных выемках, котлованах – без учета природоохранных требований, планировочных ограничений и технологических решений [1, 15, 18]. В настоящее время многие полигоны не обеспечивают надлежащей изоляции отходов, и загрязняющие вещества продолжают негативно влиять на окружающую среду и социум [19].

Такое положение позволяет при оценках опасности и риска в масштабе 1:2500000 для ЦФО использовать общее количество полигонов, свалок и замусоренных территорий без учета их соответствия санитарным нормам, фазы их существования и без специальных расчетов интенсивности влияния данных объектов на окружающую среду и социум.

Таким образом, существующие объекты опасности данного рода рассматриваются как источники, способные приводить к максимальным негативным последствиям при условии их размещения в пределах территорий с различной степенью благоприятности инженерно-геологических условий для размещения объектов обращения с ТКО. На основе формализации экспертных представлений о том, что наиболее опасными, т.е. приносящими наибольший вред окружающей среде и социуму представляются несанкционированные свалки, им присваивается в пределах территорий S_1 , 30 баллов, полигонам захоронения – 20 баллов, и замусоренным территориям – 10 баллов. Для объектов загрязнения, расположенных в пределах территорий S_2 , несанкционированным свалкам присваивается 3 балла, полигонам захо-

Таблица 2. Распределение различных объектов загрязнения в пределах субъектов ЦФО

№ п/п	Наименование субъекта	Количество существующих объектов размещения ТКО в пределах субъекта, ед./%						Суммарные баллы, C_o
		S_1 , (баллы)			S_2 , (баллы)			
		НС* (30)	ПТКО (20)	ЗТ (10)	НС (3)	ПТКО (2)	ЗТ (1)	
1	Белгородская	1/2	18/12	4/3	0	0	0	3.3
2	Брянская	6/12	17/11	5/4	1/4	0	0	6.3
3	Владимирская	2/4	8/5	5/4	0	2/4	0	2.7
4	Воронежская	2/4	15/10	10/8	0	0	0	4.0
5	Ивановская	12/24	11/7	0	11/41	3/5	0	10.0
6	Калужская	0	6/4	3/2	3/11	7/12	3/6	1.6
7	Костромская	1/2	6/4	0	0	2/4	0	1.5
8	Курская	1/2	6/4	14/11	0	0	0	2.5
9	Липецкая	1/2	9/6	1/1	1/4	4/8	2/4	2.2
10	Московская	12/24	25/16	56/43	5/18	15/26	32/60	21.8
11	Орловская	0	2/1	0	0	0	0	0.2
12	Рязанская	10/20	12/8	3/2	2/7	3/5	2/4	8.2
13	Смоленская	0	5/3	0	0	10/17	0	0.9
14	Тамбовская	2/4	1/0	2/2	0	0	0	1.4
15	Тверская	0	2/1	15/12	0	2/4	1/2	1.5
16	Тульская	0	2/1	4/3	1/4	2/4	7/13	0.8
17	Ярославская	0	11/7	7/5	3/11	6/11	8/15	2.6

*НС – несанкционированные свалки, ПТКО – полигоны захоронения ТКО, ЗТ – замусоренные территории.

ронения – 2 балла, и замусоренным территориям – 1 балл (табл. 2).

Итоговая балльная оценка опасности от воздействия объектов загрязнения рассчитывается по формуле:

$$C_o = 30 \frac{N_{НС}}{N_1} + 20 \frac{N_{ПТКО}}{N_2} + 10 \frac{N_{ЗТ}}{N_3} + 3 \frac{N_{НС}}{N_4} + 2 \frac{N_{ПТКО}}{N_5} + 1 \frac{N_{ЗТ}}{N_6},$$

где $N_{НС}$, $N_{ПТКО}$, $N_{ЗТ}$ – число объектов загрязнения соответствующей категории; $(N_1 - N_3)$ и $(N_4 - N_6)$ – число всех объектов загрязнения соответствующей категории соответственно на территориях S_1 и S_2 в пределах ЦФО (см. табл. 2).

Для примера также рассмотрим Белгородскую область. На ее территории в пределах районов S_1 расположена 1 несанкционированная свалка (2%), 18 (12%) полигонов захоронения отходов и 4 (3%) участка замусоренной территории. Источники опасности в пределах территории S_2 отсутствуют: $30 \times 0.02 + 20 \times 0.12 + 10 \times 0.03 = 3.3$.

Территория ЦФО подвержена воздействию опасных природных процессов, в основном гидрометеорологического генезиса, приводящих к значительным негативным последствиям, связанным с затоплением и подтоплением территорий, разрушением ветхих сооружений и т.п., с соответствующими экономическими потерями. Прежде всего это сильные ветры, скорость которых достигает 25–30 м/с, сопровождаемые сильными ливневыми дождями, метели и снегопады, а также паводковые явления. В период 1991–2020 гг., согласно разрабатываемой в ИГЭ РАН базе данных о последствиях проявления опасных природных процессов на территории России, количество проявлений перечисленных процессов составило 389 со следующим процентным соотношением: ураганы и ливни – 72%, метели и снегопады – 17%, 8% – паводковые явления (табл. 3). Эти процессы также могут приводить к нештатной ситуации на полигонах захоронения ТКО в результате увеличения вероятности попадания загрязнений в окружающую среду с вытекающими отсюда негативными последствиями. Последствия от гидрометеорологических процессов отнесены к различным категориям по экономиче-

Таблица 3. Распределение последствий от проявления опасных гидрометеорологических процессов по субъектам ЦФО

№ п/п	Наименование субъекта	Опасные процессы, ед./%, (баллы)			Суммарные баллы, P_o
		ураганы, ливни (30)	метели, снегопады (20)	паводки (10)	
1	Белгородская	9/4	0	0	1.2
2	Брянская	13/5	4/6	6/17	4.4
3	Владимирская	16/6	18/28	3/8	8.2
4	Воронежская	23/9	2/3	5/15	4.8
5	Ивановская	12/5	1/2	1/3	2.2
6	Калужская	11/4	6/10	2/5	3.7
7	Костромская	16/6	3/5	4/12	3.1
8	Курская	10/4	1/2	1/3	1.7
9	Липецкая	16/6	2/3	1/3	2.7
10	Московская	29/11	5/7	1/3	14.73
11	Орловская	13/5	1/2	3/7	2.6
12	Рязанская	15/6	9/14	1/3	4.9
13	Смоленская	22/9	2/3	1/3	3.6
14	Тамбовская	5/2	1/2	3/8	1.8
15	Тверская	17/7	5/7	2/5	4.0
16	Тульская	14/5	2/3	2/5	2.6
17	Ярославская	12/5	0	0	1.5

ским и социальным потерям. Умеренная (1) и опасная (2) категории последствий не характеризуются значительными экономическими потерями, но способствуют увеличению поступления загрязняющих веществ с объектов захоронения ТКО в окружающую среду, в результате их затопления, подтопления, переувлажнения и т.п.

Следовательно, для оценок опасности территории предлагается рассматривать общее количество проявлений опасных процессов, способных привести к нештатной ситуации на объектах захоронения ТКО. Исходя из частоты проявления процессов разного генезиса им были присвоены соответствующие баллы: ураганы, ливни – 30, метели, снегопады – 20 и паводки – 10.

Оценка потенциальной опасности по *проявлениям опасных процессов* (гидрометеорологических) субъекта ЦФО вычисляется по формуле:

$$P_o = 30 \frac{N_{ул}}{N_1} + 20 \frac{N_{мс}}{N_2} + 10 \frac{N_n}{N_3},$$

где $N_{ул}$, $N_{мс}$, N_n – число проявлений процессов, отвечающих определенному генезу, N_1 , N_2 , N_3 – соответственно их общее количество в пределах ЦФО (см. табл. 3).

В Белгородской обл. итоговая оценка выглядит следующим образом: $30 \times 0.04 = 1.2$.

ОЦЕНКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННО-СОЦИАЛЬНОГО РИСКА ЦФО

Интегральная оценка опасности характеризует потенциальную возможность негативных последствий от объектов захоронения ТКО в различных их проявлениях на исследуемой территории (табл. 4). Для получения балльной оценки интегральной опасности ($O_{инт}$) были просуммированы балльные значения B_o , C_o , P_o , полученные для каждого субъекта ЦФО (см. табл. 1–3).

Интегральная опасность исследуемой территории изменяется от 21.4 (Тульская обл.) до 57.5 балла (Московская обл.). Данный разброс значений было предложено разделить на 5 интервалов, соответствующих различным категориям опасности: 1 – небольшая (<25 баллов), 2 – средняя (25–35), 3 – значительная (35–45), 4 – большая (45–55), 5 – огромная (>55) (см. табл. 4, рис. 1).

Как видим, к территориям с категорией опасности “огромная” относится Московская обл., территорий с категорией опасности “большая” в пределах ЦФО нет. Категория опасности “значительная” присуща Брянской, Владимирской, Ивановской, Рязанской и Тамбовской областям. Наиболее спокойны по степени опасности Белгородская, Воронежская, Калужская, Костромская, Курская, Липецкая и Орловская области (2 “средняя” категория). Смоленская, Тверская, Туль-

Таблица 4. Расчетные условные значения риска субъектов ЦФО

№ п/п	Наименование субъекта	Интегральная опасность, $O_{\text{инт}}$, баллы	Категория опасности	Плотность населения, чел./ км ²	Условная стоимость балла, r_i	Условное значение риска, R_i	Категория риска
1	Белгородская	33.5	2	57.00	3.4	113.9	3
2	Брянская	38.7	3	34.43	3.2	123.8	3
3	Владимирская	37.9	3	46.96	2.8	106.1	3
4	Воронежская	33.8	2	44.58	2.6	87.9	3
5	Ивановская	36.2	3	46.84	2.8	101.4	3
6	Калужская	31.3	2	33.90	2.0	62.6	2
7	Костромская	31.6	2	10.58	0.6	19.0	1
8	Курская	33.2	2	36.90	2.2	73.0	2
9	Липецкая	26.9	2	47.57	2.8	75.3	3
10	Московская	57.5	5	169.00	10	575	5
11	Орловская	30.8	2	30.00	1.8	55.4	2
12	Рязанская	38.1	3	28.13	1.7	64.8	2
13	Смоленская	22.5	1	18.93	1.1	24.7	1
14	Тамбовская	32.2	3	29.48	1.7	54.7	2
15	Тверская	22.5	1	15.08	0.9	20.3	1
16	Тульская	21.4	1	57.59	3.4	72.8	2
17	Ярославская	24.1	1	34.82	2.1	50.6	2

ская и Ярославская области являются наиболее благоприятными и соответствуют 1 категории “небольшой” опасности.

Формирование и оценка природно-техногенно-социального риска исследуемой территории обусловлены взаимосвязями источника опасности и реципиента. В данном случае источник опасности – это совокупность первых трех факторов информационного уровня формирования риска, представленных выше, и выраженная через сумму баллов ($O_{\text{инт}}$), присвоенных каждому фактору (природно-техногенная составляющая), а реципиент – население (социальная составляющая).

Если исходить из общих методологических подходов к оценке риска, основанной на стоимостной оценке балла, рассчитываемой из среднесрочных потерь от опасностей определенного генезиса на определенной площади, то *условная стоимость балла может быть принята для каждого административного района с учетом плотности населения*. Плотность населения рассматриваем как основной индикатор, характеризующий освоенность, а соответственно и техногенную нагруженность территории, т.е. как основной реципиент, обобщающий в косвенном виде возможные негативные последствия от ин-

тегральной опасности территории. Совершенно очевидно, что чем больше плотность населения, тем больше вероятность негативных последствий от источников загрязнения на окружающую среду и социум при прочих равных условиях. Такой подход к оценке риска территорий от различных источников загрязнения ТКО осуществляется впервые.

Если принять условную стоимость 1 балла в пределах территорий с максимальной плотностью населения (Московская обл., 169 чел./км²) за некоторое количество условных единиц (r), то стоимость 1 балла в пределах других районов (r_i) можно рассчитать по формуле:

$$r_i = r \frac{A_i}{A_m},$$

где A_i , A_m – плотность населения в каждом административном субъекте и максимальная плотность населения (Московская обл.) соответственно.

Принимая условие, что 1 балл опасности в пределах Московской обл. имеет условную стоимость в 10 единиц, то стоимость балла в остальных субъектах ЦФО соответственно имеет значения, указанные в табл. 4.

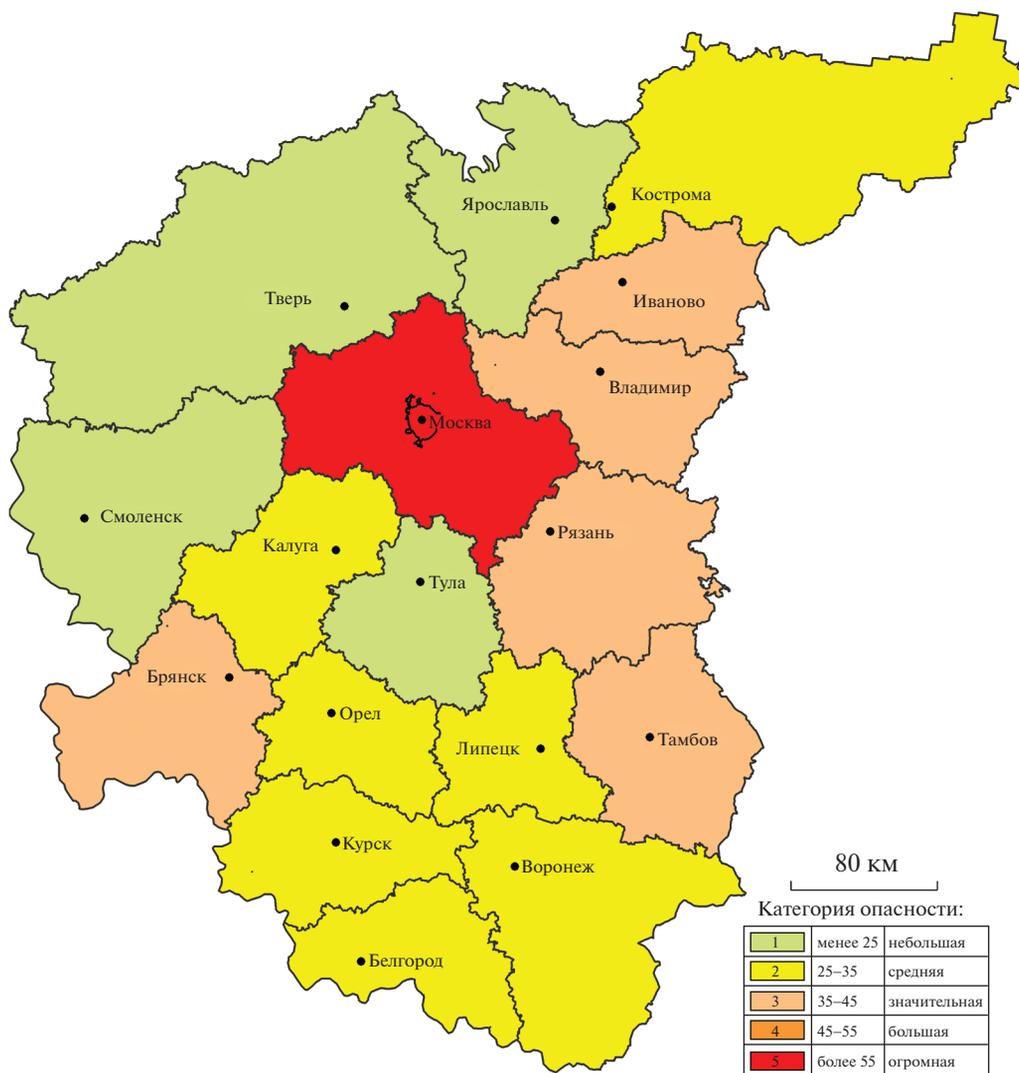


Рис. 1. Карта-схема природно-техногенной опасности ЦФО.

Соответственно оценку условного природно-техногенно-социального риска для каждой из областей получаем из выражения:

$$R_i = r_i \times O_{\text{инт}}$$

Интервал полученных условных значений риска изменяется от 19 баллов (Костромская обл.) до 575, который правомерно разделить на 5 категорий риска аналогично выделенным категориям опасности территорий: 1 – небольшой (<25); 2 – средний (25–75); 3 – значительный (75–150); 4 – большой (150–300); 5 – огромный (>300).

Полученные расчетные данные природно-техногенно-социального риска субъектов ЦФО отражены на карте-схеме (рис. 2). Как видим, наибольший риск (огромный – 5 категория), как и интегральная опасность (5), характерны для Московской обл. Категория большого риска (4) и большой опасности (4) на территории ЦФО от-

сутствует. Сохранилось соответствие значительной категории опасности и риска и для Брянской, Владимирской и Ивановской областей; средней категории опасности и риска (2) – для Калужской, Курской и Орловской областей; а небольшая категория опасности и риска (1) – для Смоленской и Тверской.

В остальных областях картина выглядит иначе. В Белгородской, Воронежской и Липецкой областях категории риска выше, чем категории интегральной опасности – категория опасности соответствует средней (2), а категория риска – значительной (3). В Тульской и Ярославской областях категория опасности небольшая (1), категория риска – средняя (2).

В Рязанской и Тамбовской произошло уменьшение категории риска по отношению к категории опасности от значительной (3) до средней (2),

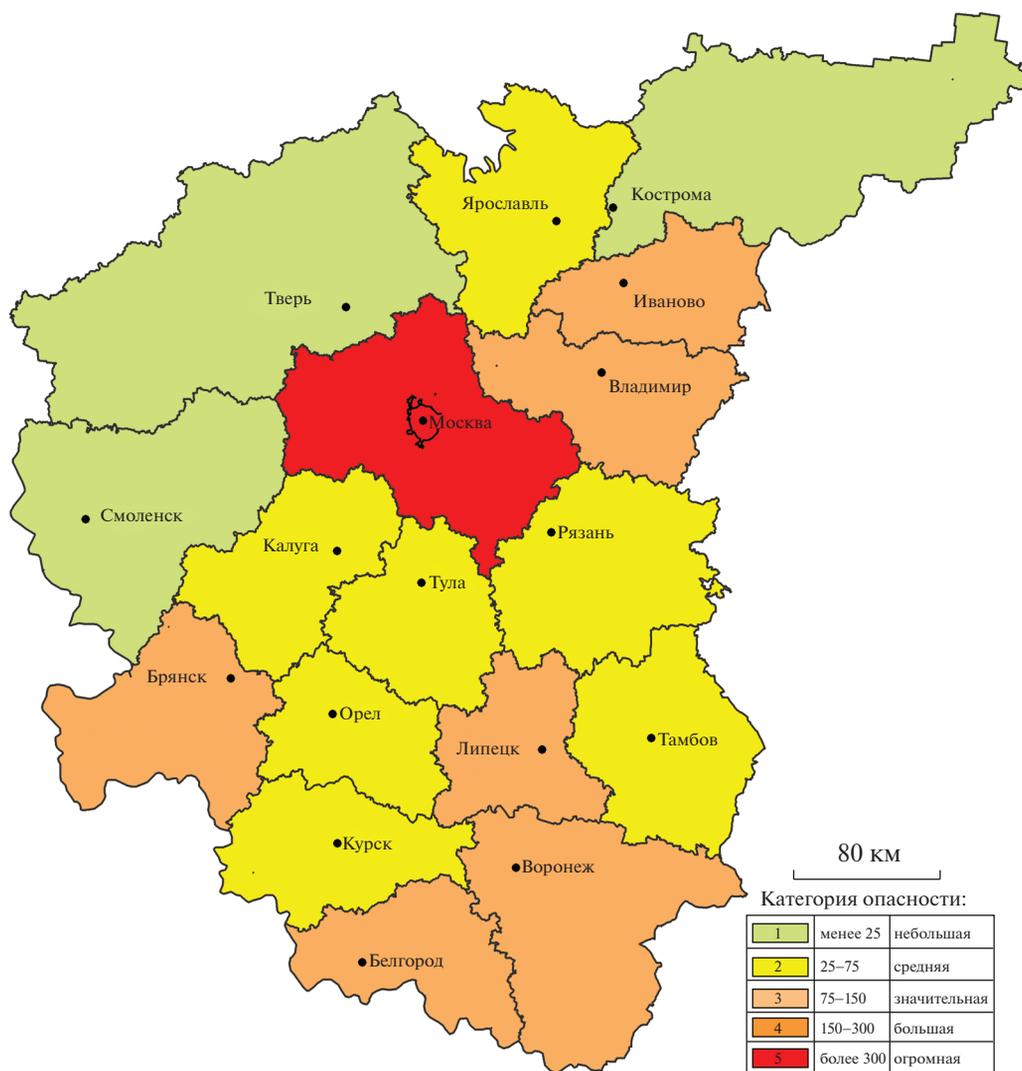


Рис. 2. Карта-схема природно-техногенно-социального риска ЦФО.

а в Костромской обл. – от средней категории опасности (2) до небольшой категории риска (1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная **сравнительная качественная оценка геологического риска** как величины вероятного экономического и социального ущерба от негативного воздействия объектов ТКО на геологическую среду для каждой из 17 областей на основании таких критериев, как доля неблагоприятных районов от общей площади территории области; число объектов ТКО, расположенных в этих районах; плотность населения и инфраструктурная нагрузка, представляют несомненную ценность. Такая экологическая оценка носит обзорный характер и предназначена для органов федерального управления, планирующих инвестиции в решение проблемы утилизации и захо-

ронения отходов в России. Она позволяет определить приоритетные направления финансовых вложений.

Возможно, какие-то полигоны могут быть реконструированы в соответствии с современными требованиями экологической безопасности. В то же время геологическая среда отдельных районов может быть настолько загрязнена в результате бесконтрольного использования под складирование ТКО, что потребуются специальные ограничения на ее использование даже после закрытия и рекультивации полигона или свалки. Необходимо установление ограничений на использование и расширение существующих объектов ТКО, расположенных в неблагоприятных по геологическим критериям районах. Требуется разработка технологии рекультивации полигонов и свалок, расположенных на неблагоприятных территориях.

При этом предложенный метод оценки интегральной опасности и риска дает не только представление о текущей ситуации на исследуемых территориях, но и позволяет определять последствия изменения некоторых факторов риска. А именно, к каким последствиям может привести изменение таких составляющих, как тип, количество и расположение источников загрязнения, а также изменение количества жителей в регионе.

Предложенный подход может быть использован при оценках риска для более крупных масштабов исследования, но с соответствующим увеличением количества факторов и информационного пространства.

Авторы благодарят старшего научного сотрудника лаборатории экзогенной геодинамики и анализа геологического риска ИГЭ РАН И.А. Кожевникову за помощь в подготовке картографического материала.

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. *Абросимов А.В.* Использование космических снимков и геоинформационных технологий для мониторинга мест складирования отходов // *Экология урбанизированных территорий.* 2014. № 1. С. 38–43.
2. *Алешина Т.А., Чернышев С.Н.* Современное геоэкологическое состояние свалок и полигонов твердых бытовых отходов Московской области и пути решения // *Вестник МГСУ.* 2012. № 9. С. 185–190.
3. *Блинов Л.Н., Букреев В.В., Ложечко В.П.* Большой город. Экология, безопасность жизнедеятельности. СПб: Изд-во Политехнического университета. 2014. 405 с.
4. *Заиканов В.Г., Заиканова И.Н., Булдакова Е.В.* Геоэкологический и ландшафтно-экологический анализ территорий существующих свалок ТБО Московской области // *Сергеевские чтения.* Вып. 20. М.: РУДН, 2018. С. 65–73.
5. *Ильиных Г.В., Коротаев В.Н., Вайсман Я.И.* Алгоритм оценки экологической нагрузки на объекты окружающей среды при обращении с твердыми бытовыми отходами с учетом их состава и свойств // *Вестник МГСУ.* 2014. № 2. С. 131–139.
6. *Козлякова И.В., Кожевникова И.А., Анисимова Н.Г., Еремина О.Н.* Геоэкологические аспекты проблемы размещения твердых коммунальных отходов (на примере Центральной России) // *Сергеевские чтения.* Вып. 22. М.: РУДН, 2020. С. 129–132.
7. *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>
8. *Малышевский А.Ф., Хабиров В.В.* Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов в городах России. М.: ИФЗ РАН, 2012. 42 с.
9. *Мочалова Л.А., Гриценко Д.А., Юрак В.В.* Система обращения с твердыми коммунальными отходами: зарубежный и отечественный опыт // *Известия УГГУ.* 2017. Вып. 3 (47). С. 97–101.
10. *Музалевский А.А., Федоров М.П., Сергеев В.В.* Оценка экологических рисков в природно-технических системах, образованных полигонами твердых бытовых отходов // *Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства.* 2020. № 1. С. 28–34. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2020-11028>
11. *Музалевский А.А., Федоров М.П., Сергеев В.В.* Риск-анализ модели полигонов твердых бытовых отходов вокруг Санкт-Петербурга // *Геоэкология.* 2019. № 3. С. 22–27. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2019-13022>
12. *Осипов В.И.* Управление твердыми коммунальными отходами как федеральный экологический проект // *Геоэкология.* 2019. № 3. С. 3–11.
13. *Осипов В.И., Аникеев А.В., Бурова В.Н. и др.* Геологический риск урбанизированных территорий / Под ред. В.И. Осипова. М.: РУДН, 2020. 312 с.
14. *Осипов В.И., Мамаев Ю.А., Козлякова И.В.* Территориальное размещение полигонов твердых коммунальных отходов // *Вестник РАН.* 2020. Т. 90. № 6. С. 567–574. <https://doi.org/10.1134/S101933162002015X>
15. *Погорелов А.В., Липилин Д.А.* Мониторинг и классификация свалок на территории Краснодарского края // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета.* 2014. № 1 (26). С. 114–121.
16. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
17. *Слюсарь Н.Н.* Использование результатов оценки экологического риска для разработки программ вывода из эксплуатации старых свалок // *Вестник МГСУ.* 2016. № 8. С. 88–99.
18. *Тимофеева С.С., Шешукова Л.В., Охотин А.Л.* Мониторинг свалок твердых бытовых и промышленных отходов в Иркутском районе по данным космических снимков // *Вестник ИрГТУ.* 2012. № 9. С. 76–81.
19. *Титова А.Г.* Оценка влияния полигона твердых коммунальных отходов на окружающую среду с использованием междисциплинарного подхода // *Проблемы региональной экологии.* 2019. № 2. С. 53–58. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-12053>
20. *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>

21. *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. Paper 640. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/640/1/012091>
22. *Bottero M., Ferretti V.* An Analytic Network Process-based approach for location problems: The case of a new waste incinerator plant in the Province of Torino (Italy) // J. of Multi-Criteria Decision Analysis. 2011. V. 17. № 3–4. P. 63–84.
23. *Chauhan A., Singh A.* A hybrid multi-criteria decision making method approach for selecting a sustainable location of healthcare waste disposal facility // J. of Cleaner Production. 2016. № 139. P. 1001–1010. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.098>
24. *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>
25. *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. № 3. P. 1273–1299. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0888-0>
26. *Erkut E., Karagiannidis A. et al.* A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece // European Journal of Operational Research. 2008. № 187. P. 1402–1421.
27. *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>
28. *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>
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. *Phukon P., Phukan S., Goswami R.* Municipal Solid Waste (MSW) disposal site selection in and around Guwahati city using GIS. Map India 2005. <https://www.researchgate.net/publication/228456456>
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. Is. 1. P. 111–118. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0296-9>
32. *Schueler A.S., Mahler C.F.* Classification Method for Urban Solid Waste Disposal Sites // Journal of Environmental Protection. 2011. № 2. P. 473–481. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.24055>
33. *Wang G., Qin L., Li G., Chen L.* Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing. China // J. Environ Manage. 2009. V. 90. № 8. P. 2414–2421. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.008>
34. *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. Is. 2. P. 445–458. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9792-3>

PROBLEMS IN MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL AND RISK ASSESSMENT BY THE EXAMPLE OF THE CENTRAL FEDERAL REGION, RUSSIA

V. N. Burova^{a,#}, I. V. Kozlyakova^{a,##}, and O. N. Eremina^a

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

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

^{##}*E-mail: ivk.geoenv@yandex.ru*

The analysis of Russian and foreign scientific studies aimed at solving problem of safe municipal solid waste (MSW) disposal proves that little attention is paid to the preliminary risk assessment in the territories in respect to MSW disposal. The article discusses the methodical principles of assessing the integral natural-technogenic hazard and risk for the territories of administrative divisions in the Central Federal region of Russia produced by legal and illegal landfills located there. For the purpose of this study, the chosen risk-forming factors include both natural, technogenic, and social components, i.e. geological structure of the soil and rock massif, natural (hydrometeorological) hazards, the number of landfills in the given administrative district, and the population density. The comparative qualitative characteristics of geological risk as the value of the probable economic and social damage caused by the disastrous impact of MSW on the geoenvironment is calculated is scores for each of 17 administrative districts of the Central Federal region. This prelimi-

nary overview assessment is intended for federal authorities planning investments in solving MSW problem in Russia.

Keywords: municipal solid waste disposal, MSW landfills, assessment of natural-technogenic hazard, geological risk, geological structure of massif, natural hazards, Central Federal region of Russia

REFERENCES

- Abrosimov, A.V. *Ispol'zovanie kosmicheskikh snimkov i geoinformatsionnykh tekhnologii dlya monitoringa mest skladirovaniya otkhodov* [Use of satellite images and GIS technologies for monitoring waste disposal sites]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2014, no. 1, pp. 38–43. (in Russian)
- Aleshina, T.A., Chernyshov, S.N. *Sovremennoe geoeologicheskoe sostoyanie svalok i poligonov tverdykh bytovykh otkhodov Moskovskoi oblasti i puti resheniya* [Current geoeological status of landfills and municipal solid waste disposal sites in the Moscow region and possible solutions of the problem]. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 9, pp. 185–190. (in Russian)
- Blinov, L.N., Bukreev, V.V., Lozhechko, V.P. *Bol'shoy gorod. Ekologiya, bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [A large city. Ecology and life safety]. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2014, 405 p. (in Russian)
- Zaikanov, V.G., Zaikanova, I.N., Buldakova, E.V. *Geoeologicheskii i landshaftno-ekologicheskii analiz syshchestvuyushchikh svalok TBO Moskovskoi oblasti* [Geoeological and landscape ecological analysis of landfill sites in Moscow oblast]. *Sergeevskie chteniya*, issue 20. Proc. of the Sci. Conference, March 22, 2018, Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 65–73. (in Russian)
- Il'inykh, G.V., Korotaev, V.N., Vaisman, Ya.I. *Algoritm otsenki ekologicheskoi nagruzki na ob'ekty okruzhayushchei sredy pri obrashchenii s tverdymi bytovymi otkhodami s uchetom ikh sostava i svoystv* [Algorithm for assessing ecological load on the environment bodies upon processing municipal solid waste taking into account their composition and properties]. *Vestnik MGSU*, 2014, no. 2, pp. 131–139. (in Russian)
- Kozliakova, I.V., Kozhevnikova, I.A., Anisimova, N.G., Eremina O.N. *Geoeologicheskiiye aspekty problem razmeshcheniya tverdykh kommunal'nykh otkhodov (na primere Tsentral'noi Rossii)* [Geoeological aspects of the municipal solid waste disposal (by the example of the Central Russia region)]. *Sergeevskie chteniya*, issue 22, Moscow, RUDN Publ., 2020, pp. 129–132 (in Russian).
- Kozliakova, I.V., Kozhevnikova, I.A., Eremina, O.N., Anisimova, N.G., *Metodologicheskiiye printsipy otsenki geologicheskoi sredy dlya razmeshcheniya ob'ektov obrashcheiya s TKO* [Methodological principles of assessing geoenvironment for allocation of municipal solid waste management facilities]. *Geokologiya*, 2021, no. 1, pp. 48–58. <https://doi.org/10.31857/S0869780921010045>. (in Russian)
- Malyshevskii, A.F., Khabirov, V.V. *Obosnovanie vybora optimal'nogo sposoba obezvezhivaniya tverdykh bytovykh otkhodov v gorodakh Rossii* [Substantiation of choosing the optimal method for neutralization of municipal solid waste in the Russian cities]. Moscow, IFZ RAN Publ., 2012, 42 p. (in Russian)
- Mochalova, L.A., Gritsenko, D.A., Yurak, V.V. *Sistema obrashcheniya s tverdymi kommunal'nymi otkhodami: zarubezhnyi i otechestvennyi opyt* [Processing municipal solid waste: domestic and foreign experience]. *Izvestiya UGGU*, 2017, no. 3 (47), pp. 97–101. (in Russian)
- Muzalevskii, A.A., Fedorov, M.P., Sergeev, V.V. *Otsenka ekologicheskikh riskov v prirodno-tekhnicheskikh sistemakh, obrazovannykh poligonami tverdykh bytovykh otkhodov* [Assessment of ecological risks in natural-technogenic systems formed of municipal solid waste disposal sites]. *Ekologicheskaya bezopasnost' stroitel'stva i gorodskogo khozyaistva*. 2020, no. 1, pp. 28–34. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2020-11028> (in Russian)
- Muzalevskii, A.A., Fedorov, M.P., Sergeev, V.V. *Risk-analiz modeli poligonov tverdykh bytovykh otkhodov vokrug Sankt-Peterburga* [Risk analysis of MSW landfill model near St. Petersburg]. *Geokologiya*, 2019, no. 3, pp. 22–27. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2019-13022> (in Russian)
- Osipov, V.I. *Upravlenie tverdymi kommunal'nymi otkhodami kak federal'nyi ekologicheskii projekt* [Management of municipal solid wastes as a Federal ecological project]. *Geokologiya*, 2019, no. 3, pp. 3–11. (in Russian)
- Osipov, V.I., Anikeev, A.V., Burova, V.N., et al. *Geologicheskii risk urbanizirovannykh territorii* [Geological risk in urban areas]. Osipov, V.I., Ed., Moscow, RUDN Publ., 2020, 312 p. (in Russian)
- 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>
- Pogorelov, A.V., Lipilin D.A. *Monitoring i klassifikatsiya svalok na territorii Krasnodarskogo kraia* [Monitoring and classification of landfills in Krasnodar region]. *Izvestiya DGU*, 2014, no. 1 (26), pp. 114–121. (in Russian)
- Saati, T. *Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarkhii* [Decision making. Method of hierarchy analysis]. Translated from English. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1993, 278 p. (in Russian)
- Slyusar', N.N. *Ispol'zovanie rezul'tatov otsenki ekologicheskogo risks dlya razrabotki program vyvoda iz ekspluatatsii starykh svalok* [The use of ecological risk assessment results for developing programs of old landfill closure]. *Vestnik MGSU*, 2016, no. 8, pp. 88–99. (in Russian)
- Timofeeva, S.S., Sheshukova, L.V., Okhotin, A.L. *Monitoring svalok tverdykh bytovykh i promyshlennykh otkhodov v Irkutskom raione po dannym kosmicheskikh snimkov* [Monitoring old municipal and industrial solid waste landfills in Irkutsk region by the satellite image

- data]. *Vestnik IrGTU*, 2012, no. 9, pp.76–81. (in Russian)
19. Titova, A.G. *Otsenka vliyaniya poligona tverdykh kommunal'nykh otkhodov na okruzhayushchuyu sredy s ispol'zovaniem mezhdistsiplinarnogo podkhoda* [Assessment of MSW landfills impact on the environment using the interdisciplinary approach]. *Problemy regional'noi ekologii*, 2019, no. 2, pp. 53–58. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-12053> (in Russian)
 20. Yuganova, T.I. *Vybor uchastkov dlya razmesheniya 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. <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019479-93> (in Russian)
 21. 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 International Conference on Sustainable Infrastructural Development. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019, paper no. 640. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/640/1/012091>
 22. Bottero, M., Ferretti, V. An Analytic Network Process-based approach for location problems: The case of a new waste incinerator plant in the Province of Torino (Italy). *J. of Multi-Criteria Decision Analysis*, 2011, vol. 17, nos. 3–4, pp. 63–84.
 23. Chauhan, A., Singh, A. A hybrid multi-criteria decision making method approach for selecting a sustainable location of healthcare waste disposal facility. *Journal of Cleaner Production*, 2016, no. 139, pp. 1001–1010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.098>
 24. 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*, 2018, vol. 124 (C), pp. 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.033>
 25. 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, no. 3, pp. 1273–1299. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0888-0>
 26. Erkut, E., Karagiannidis, A. et al. A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. *European Journal of Operational Research*, 2008, no. 187, pp. 1402–1421.
 27. 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, no. 76, p. 678. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7039-1>
 28. 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, no. 77, p. 52. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7215-3>
 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. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0577-9>
 30. Phukon, P., Phukan, S., Goswami, R. Municipal Solid Waste (MSW) disposal site selection in and around Guwahati city using GIS, Map India 2005. <https://www.researchgate.net/publication/228456456>
 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, vol. 21, no. 1, pp. 111–118. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0296-9>
 32. Schueler, A.S., Mahler, C.F. Classification method for urban solid waste disposal sites. *Journal of Environmental Protection*, 2011, no. 2, pp. 473–481. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.24055>
 33. Wang, G., Qin, L., Li, G., Chen, L. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *J. Environ. Manage.*, 2009, vol. 90, no. 8, pp. 2414–2421. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.008>
 34. 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, vol. 49, no. 2, pp. 445–458. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9792-3>