

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 504.502.64

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГОРОДЕ И ОЦЕНКА ИХ ОПАСНОСТИ

© 2022 г. В. Г. Заиканов^{1,*}, Т. Б. Минакова¹, Е. В. Булдакова¹

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

*E-mail: v.zaikanov@mail.ru

Поступила в редакцию 14.03.2022 г.

После доработки 05.04.2022 г.

Принята к публикации 11.04.2022 г.

В статье обосновывается важность оценки геоэкологической безопасности города и необходимость ее учета при определении общей экологической безопасности. Оценка геоэкологической безопасности города выполняется через расчет ее обратной величины — геоэкологической опасности (опасности от геоэкологических процессов). Обосновано понятие — геоэкологические процессы. Разработан алгоритм проведения оценки геоэкологической опасности. Установлена прямая зависимость между структурой ожидаемых отраслевых ущербов от негативного воздействия опасных геоэкологических процессов и площадями их распространения, а также с промышленной специализацией городов. Доказана возможность оценки ущерба от опасных геоэкологических процессов эмпирическим путем на основе выявленной их взаимосвязи.

Ключевые слова: геоэкологические процессы, геоэкологическая опасность/безопасность, критерий оценки опасности, удельный и общий ущерб, индикатор геоэкологической опасности

DOI: 10.31857/S0869780922030109

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая безопасность является областью стратегических интересов государства^{1,2}. Создание и поддержание национальной системы экологической безопасности — обязательное условие реализации государственной политики устойчивого социально-экономического развития страны. Поэтому геоэкологическая безопасность, как составная часть экологической безопасности, является важным элементом в обеспечении общегосударственных интересов, что особенно актуально для городов, где сосредоточено 75% населения РФ.

Первостепенная задача экологической безопасности в городах — обеспечение стабильной жизнедеятельности человека в условиях повышенной техногенной нагрузки. Для ее решения необходимо знать не только природные, но и техногенные источники проявления различных негативных процессов, в том числе и геоэкологических.

На основе изучения сложных взаимосвязей между природными и техногенными опасностями

ми обосновано понятие геоэкологических процессов. Геоэкологические процессы формируются в результате взаимодействия природных и социально-производственных сил, изменяют динамику естественных процессов и развитие природных систем, а также условия жизнедеятельности человека. На городской территории природные процессы, взаимодействуя с техногенными процессами, могут активизироваться и оказывать негативное влияние на объекты экономики вплоть до возникновения ЧС и техногенных аварий. В таких случаях формируется их новый вид — геоэкологические процессы.

Под *геоэкологическими процессами* авторы понимают природно-техногенные процессы, возникающие при взаимодействии природных и техногенных факторов и прекращающие свое развитие при условии остановки одного из них.

До настоящего времени общепризнанный подход к комплексной оценке экологической безопасности городских пространств отсутствует. Экологическая безопасность определяется ограниченным числом показателей, отражаемых в официальной статистике: загрязнение атмосферного воздуха, водоемов, биосферной компоненты окружающей среды и т.п. В то же время значительный вклад в снижение безопасности городской территории вносят последствия природных

¹ Федеральный закон №390-ФЗ “О безопасности” от 28 декабря 2010 г. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/32417>

² Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Утв. Указом Президента РФ от 31 декабря 2015 г. N 683. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/40391>

процессов и явлений (землетрясения, наводнения, пожары, оползни, просадка лессовых пород, провалы земной поверхности в результате суффозионно-карстовых процессов, абразия, эрозия, наводнения и др.). Почти четверть населения России проживает в районах повышенной природной опасности [19].

К техногенным источникам опасностей относятся результаты деятельности человека, негативно влияющие на окружающую среду. Для города характерны последствия постоянного воздействия опасных объектов экономики, транспорта и др. Активное строительство в городах, сопровождается нарушением геологической среды. В местах приложения высокой статической нагрузки и при искусственном водопонижении происходит оседание поверхности. В России насчитывается около 12.5 тыс. потенциально опасных объектов [18]. В группу таких объектов, влияющих на устойчивость геологической среды, входят предприятия химической и нефтехимической, металлургической, теплоэнергетической промышленности и др. Последствия аварий могут распространяться на большие расстояния, несмотря на то, что сама авария имеет локальный характер.

Ежегодно в России происходит до 800 чрезвычайных ситуаций техногенного и природно-техногенного характера. Большая часть объектов экономики представляет потенциальную опасность, а масштаб последствий может многократно усиливаться в случае возникновения катастрофических природных явлений.

Все это указывает на необходимость выделения среди экологических факторов самостоятельного геоэкологического блока и разработки подходов к его оценке с целью учета в общем уровне экологической безопасности городов.

Цель настоящих исследований заключалась в разработке подходов к оценке опасности геоэкологических процессов (геоэкологической опасности) в городах и их апробация.

КОНЦЕПТУАЛЬНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ГОРОДА

Развитие и функционирование городских структур определяется не столько законами природы, сколько потребностью людей. Такие структуры представляют собой результат созидательной и деструктивной деятельности многих поколений. Природа реагирует на преобразования неоднородно, активизируются негативные геологические процессы, снижается экологическая, включая и геоэкологическую, безопасность урбанизированной территории. Город — территория взаимодействия искусственной и природной

сред, здесь нарушен природный экологический баланс, а существующее природно-техногенное взаимодействие весьма неустойчивое.

Важной частью устойчивости городского пространства является стабильность природных систем вообще и геологической среды в частности. Практически для каждого города в той или иной степени характерны различные опасные геоэкологические процессы и явления, развитие которых следует оценивать и, по возможности, прогнозировать. При этом необходимо предупреждение проявления опасных геоэкологических процессов на основе выполненного прогноза.

Для выполнения оценки геоэкологической опасности/безопасности города авторами предложен общий алгоритм действий в виде последовательности процедур, позволяющих получать необходимую информацию для последующих расчетов (рис. 1).

Первостепенной задачей является идентификация природных и техногенных опасностей, присущих тому или иному муниципальному образованию.

На основании анализа литературных источников, собственного опыта полевых работ, генеральных планов городов и городских округов (ГО), расположенных в различных регионах страны, были установлены основные виды возможных опасных природных и техногенных процессов, из большого числа которых отобраны 27 приоритетных — наиболее значимых по частоте встречаемости и масштабам возможных последствий. В каждом городе возможен их индивидуальный набор, а степень опасности будет зависеть от их распространения по территории города, вероятности проявления, сочетаний отдельных их видов и реципиентов в зоне поражения.

Анализ многочисленных классификаций неблагоприятных и опасных явлений, угроз, чрезвычайных ситуаций как природного, так и техногенного характера, их источников и последствий позволил выделить основные признаки для упорядочивания геоэкологических опасностей. Согласно проведенной систематизации [7], геоэкологические процессы были разделены на классы: природный, техногенный, природно-техногенный (геоэкологический).

Геоэкологические процессы по характеру воздействия могут быть разрушительными, парализующими, истощающими, ухудшающими, внезапными или продолжительными и т.д. Важным признаком является фактор времени. Многие из опасных процессов и явлений могут вызвать человеческие жертвы и огромный ущерб за короткий промежуток времени (наводнение или техногенная авария). Другие менее опасны с геоэкологической точки зрения и не представляют непосредственной угрозы жизни человека, их



Рис. 1. Алгоритм оценки геозекологической опасности городов.

ощутимое воздействие накапливается за достаточно длительное время (загрязнение почв или донных отложений токсикантами). Кроме того, важным признаком в систематизации опасных геозекологических процессов является вероятность их проявления.

Взаимодействие природных и техногенных факторов происходит, в основном, в пределах геологической среды (ГС), которая максимально изменяется при строительстве и эксплуатации промышленных и гражданских объектов, прокладке подземных коммуникаций, а также в результате загрязнения и других видов негативного воздействия на нее. Таким образом, состояние ГС

или ее компонентов может выступать индикаторами геозекологической опасности.

Изучение и оценка изменений состояния ГС чаще всего осуществляется с разных позиций: либо с природной (например, прогноз затопления городской территории), либо с градостроительной (пригодность и защита территории для освоения). Однако даже относительно слабое природное воздействие может вызвать серьезную техногенную аварию (например, подвижки или деформация грунта часто приводят к разрывам нефтепроводов; постоянные утечки из водонесущих коммуникаций способствуют расширению подтопленных городских территорий). Многие

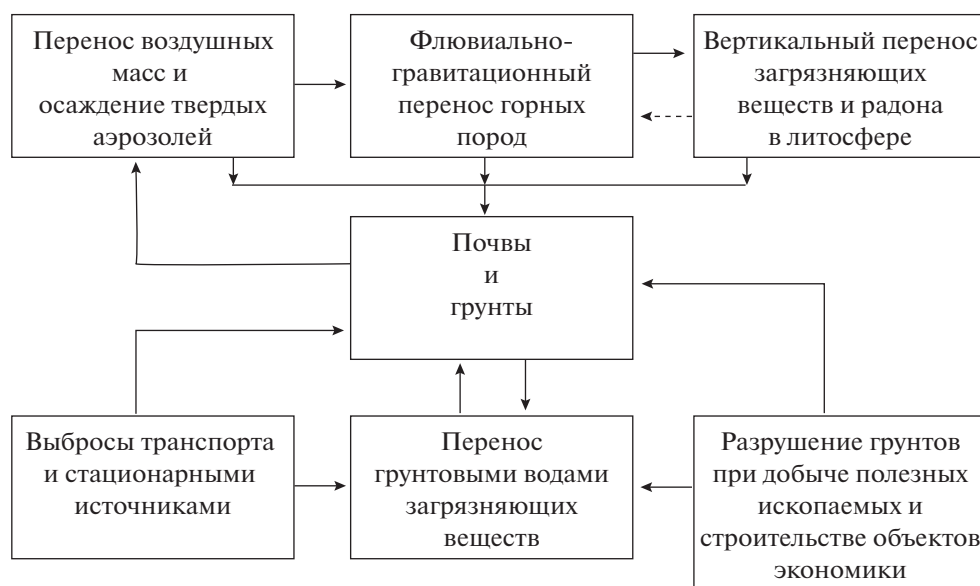


Рис. 2. Первичные и вторичные причины загрязнения почв.

опасности реализуются в виде генетически обусловленных цепочек, когда одни (первичные) вызывают другие (вторичные и т.д.). Пример этому применительно к почвам представлен на рис. 2.

Особенности формирования природно-техногенных групп геоэкологических опасностей в городах подробно рассматриваются в статье [8]. Предложенный в ней подход к возникновению геоэкологических опасностей позволит перейти от частных природных и техногенных индикаторов к комплексным природно-техногенным индикаторам геоэкологической оценки качества городской среды.

Геоэкологическая опасность определяется последствиями воздействия геоэкологических процессов на ГС. Количественная оценка одновременного проявления природных и техногенных процессов – основная задача настоящего исследования, решаемая впервые на большой выборке городов.

Воздействие геоэкологических процессов на состояние ГС может быть различным, а конечные результаты будут одинаковыми. Поэтому в качестве показателя оценки геоэкологической опасности принимаются возможные отклики городской среды на негативное воздействие, количественно выражаемые величиной экономического ущерба. За критерий оценки геоэкологической опасности предлагается принять *минимально вероятный ущерб от проявления негативных природно-техногенных (геоэкологических) процессов* [14]. При оценке ущерба от каждого из них необходимо соблюдать единый подход, основанный на:

- общем критерии оценки учитываемых природных, техногенных и природно-техногенных процессов и явлений;

- учете всех возможных сочетаний опасных геоэкологических процессов в их взаимодействии, поскольку уязвимость реципиентов к ним и последствия их реализации могут существенно отличаться от “суммы” значений показателей отдельных опасностей;

- учете временного фактора, так как причины и последствия проявления негативных воздействий могут быть длительными (накопленный ущерб) или внезапными (аварии);

- достоверности и открытости используемой для оценки исходной информации.

Сбор и соединение всей необходимой информации для оценки результата реализации всей цепочки событий “воздействие–реакция реципиента–последствие” – крайне трудоемкая задача. Исходная информация по территории города (база данных) должна включать перечни: источников негативного воздействия, видов геоэкологических процессов, возможных последствий при их реализации, а также площадей их распространения и реципиентов в этой зоне. Применительно к отдельным видам последствий определяются величины нормативных удельных ущербов и поправочных коэффициентов к ним, например, отражающих категорию опасности воздействия или вероятность события.

Следует учитывать, что источники необходимой информации для оценки природных процессов и техногенного воздействия будут различными. Так, для оценки последствий природных процессов можно использовать данные геологических мониторингов городов и результаты полевых наблюдений, сведения из генпланов городов, отчетов об экологическом состоянии территории и т.д. В расчетах участвуют показатели: вид геологиче-

ского процесса, площадь поражения им, вероятность проявления, а также уязвимость реципиентов в зоне влияния.

Среди источников техногенного воздействия преобладают локальные объекты — опасные промышленные предприятия. Их негативное воздействие проявляется в выбросах загрязняющих веществ (ЗВ), накапливающихся в почвах, грунтах, донных отложениях; хранении промышленных опасных отходов и твердых коммунальных отходов (ТКО); нарушении естественного залегания грунтов и их свойств, а также гидродинамического режима подземных вод при строительстве (особенно подземном) и разработке полезных ископаемых и т.д. При расчете техногенного ущерба учитываются те источники, которые оказывают негативное воздействие на ГС. В этом случае источниками информации являются: данные Реестров опасных объектов, Генпланов, Паспортов и Программ социально-экономического развития городов и др. Сведения о характере и последствиях техногенного воздействия частично могут содержаться в данных экологических мониторингов и отчетах об экологическом состоянии городов и отдельных предприятий. Отсутствие необходимых сведений по городам обуславливает проведение промежуточных расчетов для пополнения базы.

На следующем этапе разрабатывается алгоритм оценки ожидаемого ущерба при проявлении конкретного сочетания геоэкологических процессов в городе. Оценивать их опасность можно по аналогии с уже происшедшим событием, приведшим к потерям, или путем моделирования воздействий процесса на определенные реципиенты. В настоящее время преобладают методики оценки опасности проявления либо природных [11, 14, 16, 17, 20 и др.], либо техногенных процессов [1, 2, 18 и др.], часто отражающие фактические события или выражаемые через численность населения [4 и др.]. Комплексный подход с учетом взаимодействия природных и техногенных факторов встречается довольно редко [10, 15].

Особенность предлагаемого подхода к геоэкологической опасности в пределах городских пространств заключается в рассмотрении природных и техногенных процессов во взаимосвязи при обеспечении количественного и сопоставимого результата через величину *потенциального ущерба*.

На основе существующих методик [12, 13 и др.] и собственного опыта исследований [6, 14, 15] можно рассчитать величину потенциального ущерба (B_y) для отдельно взятого города (или ГО) по обобщенной формуле:

$$B_y = B_y^{np} + B_y^{tx} + B_y^{nt},$$

где B_y^{np} , B_y^{tx} и B_y^{nt} — ущерб от проявления естественных природных, опасных техногенных и

геоэкологических (природно-техногенных) процессов соответственно.

Поскольку на городских территориях природные процессы, как правило, развиваются по природным законам на весьма ограниченных площадях и не оказывают воздействия на объекты экономики, а негативное техногенное воздействие не всегда сказывается на ухудшении состояния ГС, то чаще всего рассчитывается приоритетный потенциальный геоэкологический ущерб. В нем учитывается величина ожидаемых последствий при вероятном проявлении природного процесса, спровоцированного человеком (например, потери земельных ресурсов при карстовых провалах) или при вероятной технологической аварии, приведшей к негативному изменению состояния природных компонентов (загрязнение ГС нефтепродуктами). В таком случае потенциальный геоэкологический ущерб представляет собой сумму природно-техногенных ущербов различных источников: природных (B_y^{np}) или техногенных (B_y^{tx}) с прямыми или косвенными последствиями в ГС и городской среде.

Природные опасности в городах (чаще всего встречаются 3–5 видов) обусловлены определенными геологическими условиями. Они, как правило, учитываются при функциональном районировании территории и проектировании отдельных строительных объектов, поэтому расчет потенциального ущерба проводится применительно к территориям, не занятым застройкой. Оценка же техногенного ущерба осложняется обилием объектов негативного воздействия, их разнообразием и расположением на территории города. В целом по РФ наибольший объем выбросов ЗВ характерен для горнодобывающих предприятий — 28.7%, на долю металлургического производства приходится — 21.4%, энергетики — 17.4%, пищевой — 1.2% и деревообрабатывающей промышленности 0.7% [3]. При размещении опасных объектов в городе их выбросы могут распространяться далеко за пределы санитарно-защитной зоны (СЗЗ).

В городах с горнодобывающими, обогащающими, металлургическими предприятиями накапливается значительное количество твердых отходов, обусловленное существующим уровнем технологии переработки сырья и недостаточностью его комплексного использования. Основная часть токсичных отходов, образующихся на производствах, хранится на территории предприятий в отстойниках, при этом может происходить проникновение ЗВ в окружающую среду. Такие объекты, представляющие собой сложный технологический комплекс, относятся к числу опасных и потенциально аварийных. Пыление хвостов, шламохранилищ, золоотвалов приводит к дополнительному загрязнению. Предприятия, вместе с

перечисленными объектами, занимают значительные площади (более 1000 га). Кроме того, промышленные отходы, как и производственные здания, оказывают статическое давление на ГС.

Объем золошлаковых отходов от сжигания угля ТЭС практически равен объему ТКО. Из общего объема отходов только 10% идет на переработку, остальное складывается в окрестностях городов или в городской черте. Золошлаковые отходы заражают почву и воду мышьяком, свинцом, кадмием и другими тяжелыми металлами, занимают большие площади. Так, для захоронения массы отходов, получаемых за сутки работы ТЭЦ мощностью 1 млн кВт ч необходимо порядка 1 га при высоте отвала не более 8 м³.

Для подобных объектов (при оценке учитывалось 40 их видов), являющихся источниками причинения вреда одновременно всем компонентам природы, расчет ущерба производится по каждому из них.

Техногенные угрозы также выражаются в виде аварий на производстве, ведущих к неблагоприятным изменениям городской среды. Наибольшую опасность представляют аварии на химических предприятиях, складах по хранению химически опасных веществ, радиационных объектах, газо- и нефтепроводах. По многолетним данным Ростехнадзора, ежегодное число аварий в основных отраслях может превышать 100. Средний ущерб от одной аварии в 2018 г. составил 34 млн руб. в основном из-за разрушения оборудования и различных технических устройств [18]. На долю же экологического ущерба приходится ориентировочно 3% этой суммы. Размеры ущербов от фактически произошедшей аварии могут изменяться от 10 млн руб. до нескольких сотен миллионов рублей. Такой разброс величин указывает на огромное разнообразие видов и масштабов аварий и соответствующих им параметров последствий.

Расчеты ущербов различного генезиса на одной территории, отличающейся в свою очередь огромной дифференциацией природных и социально-экономических условий, возможны только при условии приведения показателей ущерба к определенному моменту времени. Получаемые значения оценки ущербов являются комплексным *индикатором геоэкологической опасности* города. Его обратная величина будет отражать — геоэкологическую безопасность города.

По удельным (на единицу площади города) величинам ущерба можно сравнивать как города в целом, так и отдельные их участки между собой по степени геоэкологической опасности/безопасности. Привлечение стоимостных значений позволяет избежать проведения трудоемкой экс-

пертной оценки и обеспечивает реальную сопоставимость получаемых результатов. При этом величины ущербов отражают не только степень геоэкологической опасности, но и позволяют обозначить значимость геоэкологических факторов в общей системе экологической безопасности города.

Обоснование выбора городов для апробации предлагаемого подхода и результаты оценки приводятся ниже в соответствующих разделах статьи.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОБЪЕКТОВ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

При выборе объектов исследований, во-первых, необходим отбор городов, представляющих достаточное разнообразие по природным и социально-экономическим условиям; во-вторых, в городах должно быть различное сочетание опасностей природного, техногенного и природно-техногенного характера.

Согласно вышеназванным условиям, было отобрано 139 городов с численностью населения более 100 тыс. человек для оценки природной опасности, из них 100 — для оценки техногенной опасности городских территорий. Из последней группы было выделено 20 модельных городов.

На основе разработанной классификации видов природной, техногенной и природно-техногенной опасностей и изучения материалов по отобранному объектам были выбраны 5 видов природных опасностей, наиболее характерных для большинства городов. По промышленной специализации отбирались города с приоритетом металлургических, химических и горнодобывающих предприятий.

Для апробации предлагаемого подхода выбран вид природно-техногенной опасности — загрязнение городских почв токсикантами, что обосновывается следующими причинами:

- загрязнение почв присуще всем городам, и оно имеет площадное распространение;
- в городских почвах развиваются негативные процессы, ухудшающие их качество и снижающие их возможность выполнения экологических функций, кроме того, они выступают в роли вторичного загрязнителя атмосферного воздуха (в результате распыления почв на незадернованных участках, отвалах, хвостохранилищах и т.п.), поверхностных и подземных вод, растительности (в результате вовлечения токсикантов в круговорот веществ);
- наличие открытых данных мониторинга загрязнения почв по некоторым городам;
- наличие “Методики исчисления размера вреда...” [13];

³ <https://ect-center.com/blog/zoloshlakovie-othody>

- потери государственного бюджета из-за недоучета этого фактора в налогообложении.

В настоящее время практически повсеместно в крупных городах имеет место проблема почвенного загрязнения. Универсальным индикатором техногенного прессинга на среду обитания служат тяжелые металлы (ТМ), концентрирующиеся в почвенном покрове в различных сочетаниях, зависящих от структуры промышленности и соблюдения природоохранных нормативов. Накопление ТМ в почвах происходит при распространении выбросов ЗВ, а также при складировании промстоков и производственных авариях. Специфика и сложность оценки этого загрязнения заключается не только в многофакторности проявления природных и техногенных опасностей, но и в ограниченности исходной информации, в частности по отдельным опасным объектам — главным “загрязнителям” среди стационарных источников. Поэтому предлагаемый подход к оценке опасности представляет собой совокупность методов, объединенных общей методологией.

Для оценки ущерба необходимо знать значения площадей распространения загрязненных почв выбросами ТМ с учетом степени их опасности, вероятности проявления аварий и размещения опасных отходов производства, а также требуются достоверные исходные данные, которые в настоящее время отсутствуют в официальной статистике. Это определяет необходимость привлечения различных методов: аналитико-сравнительного, статистического, эмпирических оценок и др., а также нормативных показателей.

Поскольку ущерб определяется применительно к известному набору опасных геоэкологических процессов, в городах-аналогах можно применять косвенный метод их оценки, основанный на экстраполяции выявленных закономерностей негативных последствий от основных ущербобразующих факторов на модельных объектах. Кроме того, для практической реализации стоящей задачи необходимо привлекать методы оценки удельного ущерба, основанные на затратном подходе, заключающемся в замещении потерь при проявлении конкретного негативного геоэкологического процесса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ

Оценка ущерба от геоэкологических процессов производилась с соблюдением изложенных выше единых подходов в три этапа: 1) оценка природной опасности, 2) оценка техногенной опасности в 20-ти модельных городах на основании прямых расчетов, 3) оценка $B_y^{пт}$ в 100 городах с привлечением эмпирических зависимостей. В то же время существуют особенности оценки

природных и техногенных процессов, так как степень каждого вида опасности зависит от многих причин. К основным параметрам поражающих факторов отнесены их сочетания, площадь распространения, вероятность реализации, временной фактор и др.

Результаты оценки природных опасностей в 139 городах подробно, рассмотренных в статье [14], показали большой разброс от >100 тыс. руб./га до <10 тыс. руб./га. В группу городов с высокими удельными значениями ущерба попали 14 городов в северо-западной и центральной Европейской части РФ и 5 городов в Сибири и на Дальнем Востоке.

Прямой связи между полученными значениями потенциального ущерба от проявления природных опасностей и численностью населения не было выявлено, что подтверждается присутствием городов-миллионников во всех градациях ущерба. Также не была установлена зависимость между удельными величинами ущерба и городскими площадями, несмотря на то, что расчеты базировались на распространенности процессов, а удельная оценка относилась к общей площади города.

Значения полученных оценок определяются, главным образом, существующим подтоплением обширных городских площадей; в горных районах увеличивается роль оползневой и сейсмической опасности.

Оценка ущерба от геоэкологических процессов в модельных городах

Удельные значения ущерба от опасных природных процессов в модельных городах изменяются от 50 до 8 тыс. руб./га [14] (табл. 1).

Высокое значение опасности (>30 тыс. руб./га) со стороны природных процессов отмечается в городах, где площадь поражения процессами более 35%. К группе городов с самым низким значением (<10 тыс. руб./га) ущерба от воздействия природных процессов относятся города только с подтоплением. Исключением являются г. Казань, где не отмечено подтопление, и г. Ангарск, расположенный в зоне сейсмического риска (см. табл. 1).

Размеры ущерба напрямую зависят от сочетания учтенных процессов и их площадного распространения. Затоплению из-за высоких паводков или подъема воды в водохранилищах подвержены 11 городов (от 5 до 25% их территории). Оползнеопасные склоны занимают до 12% в таких городах, как Архангельск, Казань, Нижний Новгород и Старый Оскол. Суффозионно-карстовые процессы наиболее распространены на территории, например, Казани и Набережных Челнов. Несколько городов находятся в потенциаль-

Таблица 1. Распределение модельных городов в соответствии со значением удельных ущербов от опасных геоэкологических процессов

Градации удельного ущерба от природных процессов, тыс. руб./га	Города	Градации удельного ущерба от техногенных процессов, тыс. руб./га	Города
>30	Архангельск, Комсомольск-на-Амуре, Нижний Новгород	>1000	Старый Оскол
30–25	Самара	1000–500	
25–20	Набережные Челны, Новокузнецк, Череповец	500–250	Ачинск, Новокузнецк, Череповец
20–15	Бийск	250–125	Ангарск, Набережные Челны, Нижний Тагил, Томск
15–10	Ачинск, Дзержинск, Красноярск, Новосибирск, Омск, Ростов-на-Дону, Старый Оскол	125–62.5	Дзержинск, Ижевск, Комсомольск-на-Амуре, Казань, Новосибирск, Ростов-на-Дону
<10	Ангарск, Ижевск, Казань, Нижний Тагил, Томск	<62.5	Архангельск, Бийск, Красноярск, Нижний Новгород, Омск, Самара

но опасной сейсмической зоне (>7 баллов по шкале Рихтера).

Техногенный ущерб зависит от многих факторов: количества учитываемых опасных объектов, их специализации, рельефа и климатических условий, доли их площади от площади городских производственных зон, их размещения в черте города или вне, наличия СЗЗ и т.д. Значения ущербов от возможного проявления техногенных процессов в выборке модельных городов – от >1000 до 40 тыс. руб./га (см. табл. 1).

Оценка техногенных опасностей осложняется необходимостью изучения каждого (группы подобных) предприятия. Из них выбирались наиболее опасные, в основном I и II категории⁴. В итоге: металлургическое производство превалирует в 6 городах, в двух из которых еще развита и горнодобывающая промышленность. Химические предприятия распространены в 5 городах. В большинстве модельных городов развито машиностроение и приборостроение, пищевая промышленность и энергетика. Число выбранных для оценки последствий воздействия опасных предприятий в модельных городах изменяется от 20 до 55 штук. Представительность данной выборки подтверждается средней долей их площади в общей площади производственных и коммунально-складских зон городов 47%.

Коэффициент степени загрязнения почв городской территории рассчитывается как средняя

величина по рассматриваемым городам на основе данных наблюдательной сети Росгидромет и организаций, проводящих многолетние наблюдения за промышленным загрязнением почв [5].

Величина ущерба зависит не только от класса опасности выбросов, но и от площади их распространения. Поскольку по большинству оцениваемых объектов отсутствовали данные о площадях загрязненных ими почв, то их расчет осуществлялся, исходя из размеров промплощадки, объемов производства и выбросов ЗВ, размера фактической или нормативной СЗЗ, а также радиуса возможного распространения загрязнения за ее пределами.

Законодательно загрязнение должно ограничиваться пределами СЗЗ. При оценке накопленного ущерба от загрязнения почв выбросами важно установить, насколько достаточна существующая площадь СЗЗ в городах. Особенно сильно загрязнены ТМ почвы километровой зоны вокруг крупных промышленных предприятий, однако радиус распространения загрязнения почв может достигать нескольких километров. К сожалению, данные о размерах СЗЗ не всегда доступны. Эти величины учитывались с двух позиций. Существующие фактические данные выступали в качестве контрольных цифр, подтверждающих правильность отнесения учитываемого объекта к определенной категории опасности. При отсутствии сведений о СЗЗ их параметры назначались в соответствии с утвержденными критериями отнесения объектов к той или иной категории. Площадь СЗЗ зависит от размера производственной площадки и категории предприятия.

⁴ Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 2398 “Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий”. URL: <http://gov-mint.ru/docs/all/132200/>

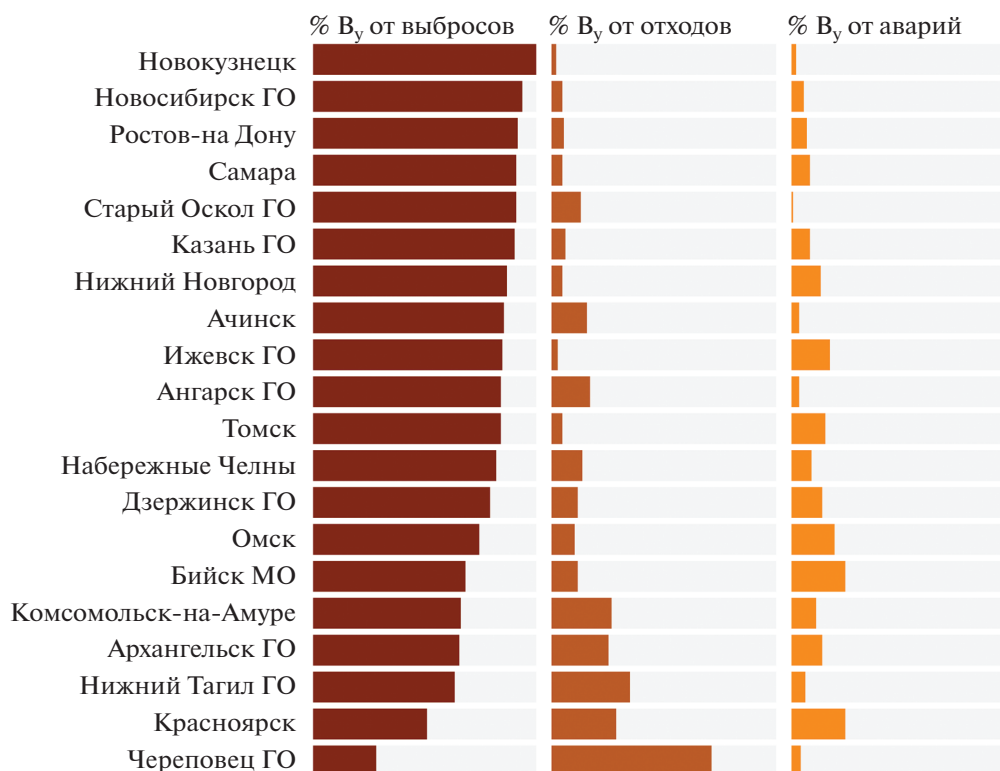


Рис. 3. Процентное соотношение видов техногенного ущерба для модельных городов.

В группе модельных городов связь площадей СЗЗ и производственных площадок получилась низкая ($R = 0.55$). По имеющимся данным, отношение площади СЗЗ к площади производственных зон в городе может изменяться от 1.5 до 3 раз. Значение этой величины по выборке колеблется от 0.1 до 3.4 раз, составляя в среднем 2.4 раза. Значение <1 указывает на недостаточность СЗЗ в городе. Причинами больших значений этого показателя являются: совмещение СЗЗ нескольких соседних предприятий (не учитываемое в расчетах) и распространение загрязнения за пределами СЗЗ. Близкое расположение источников токсичных выбросов друг от друга обуславливает суммарное загрязнение почв, при этом трудно определить долевое участие каждого предприятия (например, в Старом Осколе, Нижнем Тагиле и др.). Таким образом, от площади СЗЗ может резко изменяться величина ущерба от выбросов ЗВ, что подтверждается сильной связью этих величин ($R = 0.80$).

В расчетах техногенного ущерба, кроме накопленного ущерба от загрязнения почв токсикантами учитывалось негативное воздействие промышленных отходов и степень аварийности предприятий. Как правило, в техногенном ущербе преобладает накопленный ущерб от выбросов ЗВ (до 90%). Максимальная доля выбросов в тех-

ногенном ущербе отмечается в г. Новокузнецк. Однако в городах, например, с развитой металлургией или ГОКами, доля этого ущерба снижается до 50% за счет учета воздействия на ГС промышленных и коммунальных отходов. Максимальный ущерб от промышленных (металлургических и химических) отходов установлен в г. Череповец, где его доля в общем техногенном ущербе более 60%. Этот же показатель, равный $>20\%$, характерен для городов Нижний Тагил, Красноярск и др., а минимальные его значения $<5\%$ – для городов с приоритетом машиностроения.

Число вероятных аварийных ситуаций на промышленных предприятиях городов, учтенных в расчетах ущербов, колеблется от 31 до 63 (в среднем 45) событий. Доля аварийности более 20% в городах с приоритетом химической промышленности (Бийск и Омск).

Среднее по модельным городам процентное соотношение видов техногенного ущерба следующее (%): ущерб от выбросов – 80.8, от хранения и складирования отходов – 12.9, от аварий – 6.3. Соотношение этих величин по модельным городам отражено на рис. 3.

Установлена прямая связь получаемых величин ущерба от техногенного воздействия как с производственными городскими площадями

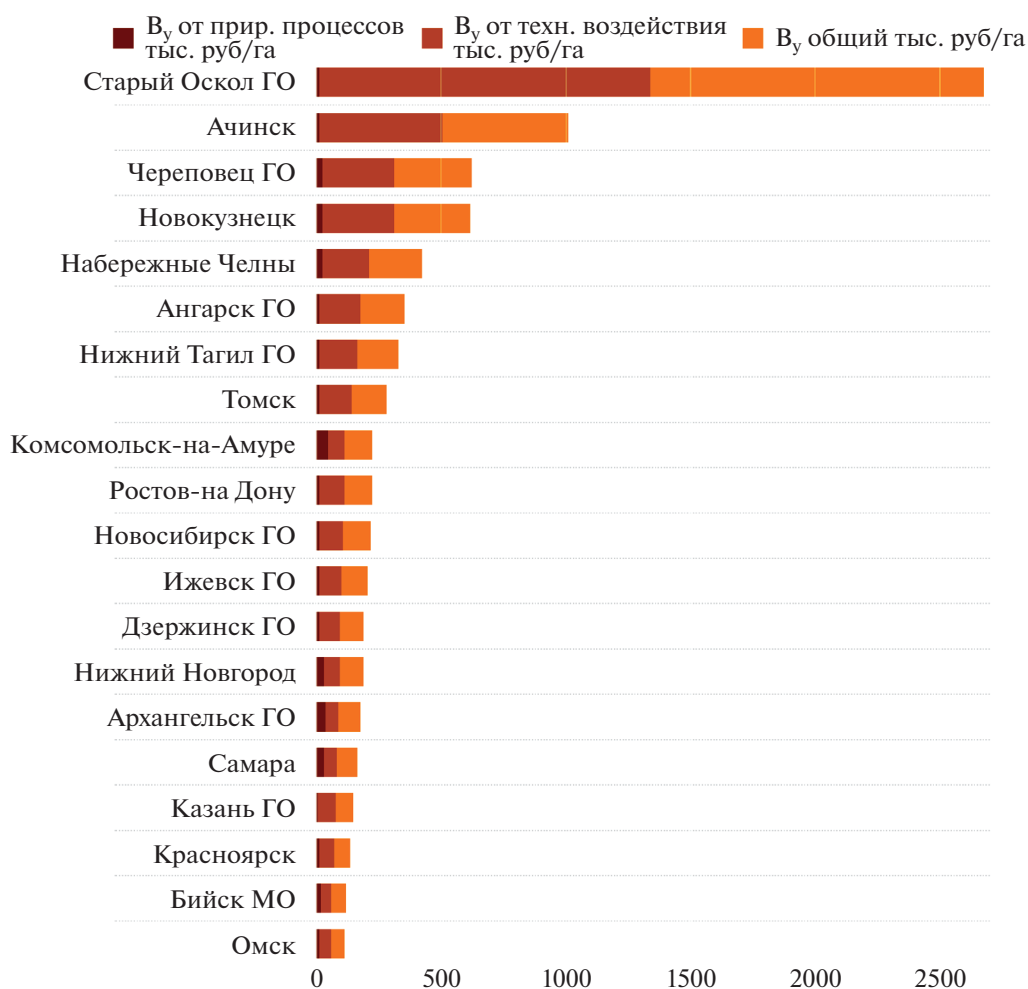


Рис. 4. Соотношения удельных значений ущерба для модельных городов, тыс. руб./га.

($R = 0.95$), так и площадями опасных объектов ($R = 0.78$). Доля площади загрязненных почв в общей площади городов изменяется в несколько раз. Прямой зависимости величины ущерба от площади загрязнения почв не прослеживается, так как оценка учитывала природные особенности местонахождения города, степень опасности выбрасываемых ЗВ, разнообразные по специфике производства и их количество. Максимальные значения техногенного ущерба характерны для городского округа Старый Оскол в связи с размещением на его территории электрометаллургического комбината им. А.А. Угарова, Стойленского карьера, ГОКа, отвалов, хвостохранилищ, ЖБИ, а также с опасностью затопления и другими негативными факторами. Остальные города с металлургией имеют значения ущерба в 2–4 раза ниже.

Превышение техногенного ущерба над природным в общем геоэкологическом ущербе в модельных городах составляет в среднем 11 раз (рис. 4).

Большая дифференциация значений ущерба подтверждает необходимость индивидуального рассмотрения городов. Анализ структуры промышленной специализации городов и отраслевой структуры ущерба выявил либо их полное процентное совпадение, либо близкие значения, в частности, для предприятий химического и металлургического профиля. Это видно из группировки городов по величине удельного техногенного ущерба (табл. 2).

Кроме отмеченных в табл. 2 отраслей, большая доля производства приходится на объекты энергетики и пищевой промышленности (золотоотвалы, мукомольное производство, мясокомбинаты и др.), соответственно на ущербы от их деятельности. В расчетах также учитывалось возможное воздействие опасных предприятий строительной и деревообрабатывающей промышленности. Как видно из табл. 2, отмечается соответствие величин отраслевых ущербов промышленной специализации городов.

Таблица 2. Сопоставление структур приоритетных видов производства и отраслевых ущербов в группах модельных городов

№ группы городов	Количество городов в группе, шт.	Доля приоритетных отраслей в общем объеме производимой в городах продукции/Отраслевая структура ущербов от негативного техногенного воздействия, %				Средний по группе техногенный ущерб, тыс. руб./га
		Горно-добывающая	Нефтехимическая, химическая	Металлургическая	Машино-строительная	
1	2	25/40		50/45		824
2	4		60/40	/35		261
3	3			15/15	45/25	155
4	6		/50	10/20	32/	113
5	5		60/60			84

Оценка ущербов от геоэкологических процессов в выборке из 100 городов

В результате выполненных исследований установлена довольно тесная связь между массой выбросов ЗВ стационарными источниками и ущербом от нее. Используя эту зависимость, оказалось возможным осуществлять определение величины ущерба для выборки 80 городов, причем с достаточно высокой точностью до 5 тыс. руб./га (рис. 5).

График можно использовать как экспресс-оценку ущерба при больших объемах расчетов. На графике однозначно определяется три интервала зависимости ущерба от объемов выбросов ЗВ. Это интервалы со значениями (тыс. т): 0.1–200.0; 200.1–2000.0 и 2000.1–4000.0. В интервале

0.1–200.0 тыс. т точность определения ущерба снижается особенно при значениях выбросов до 50.0 тыс. т, а при значениях 200.0 и 2000 тыс. т возникает неоднозначность определения значения ущерба. В этом случае величину ущерба необходимо определять с привлечением данных о специализации промышленности города. Чем токсичнее вещества при равных массах выбросов, тем больший будет нанесен ущерб.

В выборке из 100 городов, несмотря на обычное преобладание последствий техногенного воздействия, отмечаются случаи превышения ущербов от природных процессов над техногенными до 2 раз в 7 городах (Воронеж, Краснодар, Нефтекамск, Нижневартонск, Салават, Южно-Сахалинск, Якутск) и близкие значения этих показателей в 4 городах (Брянск, Кострома, Курган и Ярославль). Как правило, это города с общим ущербом 25–60 тыс. руб./га и со сложными природными условиями.

Из табл. 3 видно, что около половины городов выборки попадают в нижнюю градацию общего удельного ущерба (<62.5 тыс. руб./га), причем среди них преобладают города (82%) со значениями ущербов менее 30 тыс. руб./га. Максимальное превышение техногенного воздействия над природным отмечается в 3 городах (Новоросийск, Чита и Старый Оскол). При этом по модельным городам среднее значение общего ущерба 290 тыс. руб./га, а по остальной выборке 113 тыс. руб./га (см. табл. 3).

Таким образом, многие города характеризуются достаточно высокой геоэкологической безопасностью. Ориентировочно потенциальный ущерб от проявления учтенных опасных природных процессов, наиболее часто встречающихся в городах, может превышать 600 млн руб. на сред-

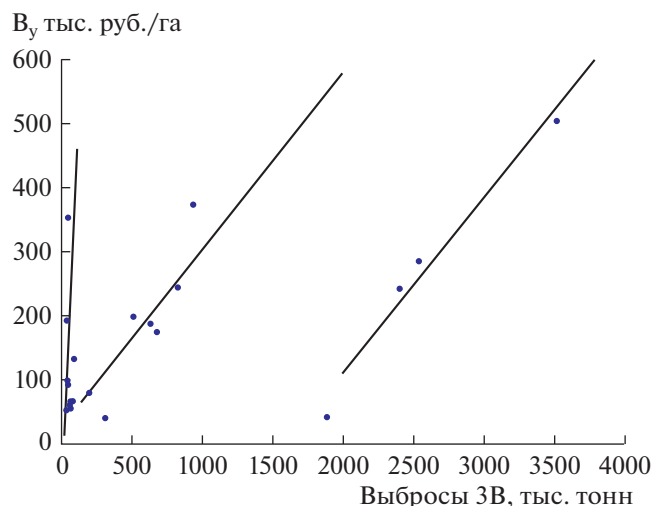


Рис. 5. Зависимость удельного ущерба от массы выбросов ЗВ в городах.

Таблица 3. Распределение 100 городов выборки по градациям общего удельного ущерба

Градация общего удельного ущерба, тыс. руб./га	Число городов из выборки 100 городов	Число городов из выборки 20 модельных городов
>500	3	2
500–250	11	2
250–125	20	4
125–62.5	21	10
<62.5	45	2

ний город выборки [14], а от техногенного загрязнения городских почв ущерб может достигать десятков миллиардов рублей на город.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные величины ущербов отражают не только степень геоэкологической опасности/безопасности городов, но и их значимость в общей системе экологической безопасности. На это указывает масштабность оцененных последствий проявления геоэкологических процессов, несмотря на то, что в расчетах учитывалось ограниченное число их видов.

Недоучет возможного ущерба от проявления потенциальных геоэкологических опасностей при принятии управленческих решений как на уровне отдельных городов, региональном и на национальном уровне может привести к необоснованным экономическим затратам и возникновению вторичных негативных последствий, обуславливающих снижение устойчивого развития городов и их безопасности.

Борьба за уменьшение ущерба от последствий стихийных бедствий и опасных процессов становится важным элементом государственной политики, в основу которой должны быть положены прогнозирование и своевременное предупреждение о грозящем бедствии. Международный опыт показал, что затраты на реализацию стратегии предотвращения до 15 раз меньше по сравнению с потерями, связанными с развитием опасных процессов. Реализация комплекса превентивных мероприятий позволит в 10–15 раз сократить затраты на ликвидацию последствий проявления негативных процессов и событий по сравнению с величиной предотвращенного ущерба [9].

Исследованиями установлено, что из всех рассмотренных видов негативного воздействия гео-

экологических процессов налогообложению в настоящее время подлежат только промышленные отходы. Имеющаяся в Росстате информация о затратах предприятий на очистку почв от загрязнения и засорения, а также на мониторинговые мероприятия и управление природоохранной деятельностью, может служить основанием для расширения налогооблагаемой базы за счет включения загрязнения почв токсикантами.

Оценка ущерба в денежном выражении, причиняемого окружающей среде и человеку, оказалась достаточно сложной задачей из-за отсутствия необходимых статистических данных и общепризнанных методик проведения подобных расчетов. Наличие существующих нормативных документов в сфере оценки экологического вреда окружающей среде не решает проблему получения объективных значений стоимостных оценок экологического ущерба. Для практического внедрения предлагаемого методологического подхода необходимо:

- дополнить статистику Росстата отраслевыми экономическими показателями в разрезе городского округа или города;

- расширить общую нормативную базу планирования городской территории за счет разработки специальных геоэкологических нормативов;

- создать базу данных по городам РФ, обеспечивающую автоматизированную оценку геоэкологической опасности/безопасности, для ее использования при планировании городских территорий.

Для принятия эффективных управленческих решений, направленных на обеспечение социально-экономической и экологической безопасности городов РФ, необходима оценка экономического ущерба от последствий возможного проявления геоэкологических процессов на основе оперативной систематизированной геопространственной информации и их дифференциация по территориям городских округов и городов РФ.

Полученные результаты оценки ущербов от геоэкологических процессов являются основой для перехода к оценке геоэкологической безопасности, представляемой интегрированным показателем – *индексом геоэкологической безопасности городов*, применение которого будет содействовать эффективному управлению городскими территориями.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГЭ РАН по теме НИР № г.р. 122022400104-2 “Техногенез и природа: геоэкологические проблемы”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдоткин В.П., Дзыбов М.М., Самсонов К.П.* Оценка ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012. 467 с.
2. *Абатурова И.В., Емельянова И.А., Ковязин И.Г.* Лито-техническая система “город — геологическая среда” и нарушение ее функционирования в результате развития природных и природно-техногенных процессов // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. М.: РУДН, 2015. Вып. 17. С. 463–468.
3. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Аналитический центр при Правительстве РФ. 2020. № 66. https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_октябрь_web.pdf ac.gov.ru/publications/
4. *Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л.* Оценка опасности наводнений на территории Российской Федерации // Водное хозяйство России. 2012. № 2. С. 29–46.
5. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2019 году. Обнинск: ФГБУ “НПО “Тайфун”, 2020. 129 с.
6. *Заиқанов В.Г., Минакова Т.Б.* Методические основы комплексной геоэкологической оценки территорий. М.: Наука, 2008. 81 с.
7. *Заиқанов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В.* Геоэкологическая безопасность урбанизированных территорий: подходы и пути реализации // Геоэкология. 2019. № 1. С. 17–23.
8. *Заиқанов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В.* Природно-техногенные геоэкологические опасности в городе: формирование, динамика, воздействие // Геоэкология. 2021. № 5. С. 42–56.
9. *Карпенко С.Н.* Вопросы квалификации геологического риска // Правовые вопросы строительства. 2012. № 2. С. 23–29.
10. *Кофф Г.Л., Минакова Т.Б., Бахирева Л.В. и др.* Методические основы оценки техногенных изменений геологической среды городов. М.: Наука, 1990. 197 с.
11. *Мальнева И.В.* Современные проблемы прогнозирования опасных природных процессов на территории России и стран СНГ // Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата: матер. междунар. научно-практ. конф. по проблемам снижения природных опасностей и рисков. М.: РУДН, 2018. Т. II. С. 87–91.
12. Методика определения риск-ориентированного интегрального показателя промышленной безопасности (РОИП ПБ). 297 с. <https://gpmfliftservis.ru/uploads/files/20180409-120157.pdf>
13. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды. Утв. Приказом Минприроды России от 08.07.2010 № 238 (с правками 2014 г., 2018 г.). <https://docs.cntd.ru/document/902227668>
14. *Минакова Т.Б., Заиқанов В.Г., Булдакова Е.В.* Геоэкологический след в городах России: подходы, оценки, результаты // Геоэкология. 2020. № 6. С. 83–94.
15. *Минакова Т.Б., Заиқанов В.Г., Булдакова Е.В.* Подход к оценке загрязнения почвенного компонента природно-техногенных систем для геоэкологической безопасности города // Геоэкология. 2021. № 6. С. 89–96.
16. *Осипов В.И.* Природные катастрофы: анализ развития и пути минимизации последствий // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (ГЕОРИСК-2015): матер. 9-й Междунар. научно-практ. конф. М.: РУДН, 2015. Т. I. С. 7–24.
17. *Осипов В.И., Заиқанов В.Г., Бурова В.Н., Минакова Т.Б.* Основы оценки уязвимости территории для опасных природных процессов, определяющих ЧС (принципы и методические подходы) // Геоэкология. 2015. № 3. С. 195–203.
18. Отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2016–2018 гг. https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/
19. *Порфирьев Б.Н.* Экономика природных катастроф // Мир новой экономики. 2015. № 4. С. 21–41.
20. Природные опасности России. Т. 6. Оценка и управление природным риском / Под ред. А.Л. Рагозина. М.: Изд-во “КРУК”, 2003. 320 с.

GEOENVIRONMENTAL PROCESSES IN THE CITY AND ASSESSMENT OF THEIR HAZARD

V. G. Zaikanov^{a,*}, T. B. Minakova^a, and E. V. Buldakova^a

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

^{*} *E-mail: v.zaikanov@mail.ru*

The article substantiates the importance of assessing the urban geoenvironmental safety to ensure its overall environmental safety. Geoenvironmental safety is assessed through the calculation of the geoenvironmental hazard as its inverse value. The term “geoenvironmental processes” is proposed. An algorithm for conducting such an assessment has been developed. A direct relationship has been established between the structure of

expected industrial damages from the negative impact of the manifestation of dangerous geoenvironmental processes and the areas of their distribution, as well as the industrial specialization of cities. The possibility of assessing the damage from hazardous geoenvironmental processes empirically based on their relationship has been proved.

Keywords: *geoenvironmental processes, geoenvironmental hazard, safety, hazard assessment criterion, specific and total damages, geoenvironmental hazard indicator*

REFERENCES

1. Avdot'in, V.P., Dzybov, M.M., Samsonov, K.P. *Otsenka ushcherba ot chrezvychaynykh situatsii prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera* [Assessment of damage from natural and technogenic emergencies]. Moscow, FGBU VNII GOChS (FC) Publ., 2012, 468 p. (in Russian)
2. Abaturova, I.V., Emel'yanova, I.A., Kovyazin, I.G. *Lito-tekhnicheskaya sistema "gorod – geologicheskaya sreda" i narushenie eyo funktsionirovaniya v rezul'tate razvitiya prirodnikh i prirodno-tekhnogennykh protsessov* [Lithotechnical system "city – geological environment" and the disruption of its functioning as a result of the development of natural and natural-technogenic processes]. *Sergeevskie chteniya "Inzhenerno-geologicheskii i geokologicheskii problemy gorodskikh aglomeratsii"* [Proc. Conf. in commemoration of academician E.M. Sergeev. Engineering-geological and geoenvironmental problems of urban agglomerations]. Moscow, RUDN Publ., 2015, issue 17, pp. 463–468. (in Russian)
3. *Byulleten' o tekushchikh tendentsiyakh rossiiskoi ekonomiki* [Bulletin on the current trends of the Russian economy]. Analytical Center under the Government of the Russian Federation. 2020, no. 66. https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_октябрь_web.pdf <https://ac.gov.ru/publications/> (in Russian)
4. Gladkevich, G.I., Terskii, P.N., Frolova, N.L. *Otsenka opasnosti navodnenii na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Flood hazard assessment in Russia]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii*, 2012, no. 2, pp. 29–46. (in Russian)
5. *Zagryaznenie pochv Rossiiskoi Federatsii toksikantami promyshlennogo proiskhozhdeniya v 2019 godu* [Contamination of soils in the Russian Federation with toxicants of industrial origin in 2019]. Obninsk, NPO Taifun Publ., 2020, 129 p. (in Russian)
6. Zaikanov, V.G., Minakova, T.B. *Metodicheskie osnovy kompleksnoi geokologicheskoi otsenki territorii* [Methodological foundations of a comprehensive geoenvironmental assessment of territories]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 81 p. (in Russian)
7. Zaikanov, V.G., Minakova, T.B., Buldakova, E.V. *Geokologicheskaya bezopasnost' urbanizirovannykh territorii: podkhody i puti realizatsii* [Geoenvironmental security of urbanized territories: approaches and ways of implementation]. *Geoekologiya*, 2019, no. 1, pp. 17–23. (in Russian)
8. Zaikanov, V.G., Minakova, T.B., Buldakova, E.V. *Prirodno-tekhnogennye geokologicheskii opasnosti v gorode: formirovaniye, dinamika, vozdeystvie* [Natural and human-induced geoenvironmental hazards in the city: formation, dynamics, and impact]. *Geoekologiya*, 2021, no. 1, pp. 42–56. (in Russian)
9. Karpenko, S.N. *Voprosy kvalifikatsii geologicheskogo riska* [Issues of geological risk qualification]. *Pravovye voprosy stroitel'stva*, 2012, no. 2, pp. 23–29. (in Russian)
10. Koff, G.L., Minakova, T.B., Bakhireva, L.V., et al. *Metodicheskie osnovy otsenki tekhnogennykh izmenenii geologicheskoi sredy gorodov* [Methodological framework for the assessment of technogenic changes in urban geological environment]. Moscow, Nauka Publ., 1990, 197 p. (in Russian)
11. Mal'neva, I.V. *Sovremennyye problemy prognozirovaniya opasnykh prirodnikh protsessov na territorii Rossii i stran SNG* [Current problems in forecasting hazardous natural processes in Russia and CIS countries]. *Analiz, prognoz i upravleniye prirodnymi riskami s uchetom global'nogo izmeneniya klimata. Mat-ly Mezhdunarodoi nauchno-prakticheskoi konf. po problemam snizheniya prirodnikh opasnostei i riskov* [Analysis, forecast and management of natural risks with the account of global climate change. Proc. Int. Sci. and Pract. Conf. on the problems of reducing natural hazards and risks]. Moscow, RUDN Publ., 2018, no. II, pp. 87–91. (in Russian)
12. *Metodika opredeleniya risk-orientirovannogo integral'nogo pokazatelya promyshlennoi bezopasnosti* [Methodology of determining the risk-oriented integral indicator of industrial safety]. 297 p. <https://gpmliftservis.ru/uploads/files/20180409-120157.pdf> (in Russian).
13. *Metodika ischisleniya razmera vreda, prichinnogo pochvam kak ob'ektu okhrany okruzhayushchei sredy* [Methodology for calculating damage to soils as an object of environmental protection]. Approved by the order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, no. 238 dated 08.07.2010 (revised in 2014, 2018). <https://docs.cntd.ru/document/902227668>. (in Russian)
14. Zaikanov, V.G., Minakova, T.B., Buldakova, E.V. *Geokologicheskii sled v gorodakh Rossii: podkhody, otsenki, rezul'taty* [Geoeological footprint in Russian cities: approaches, assessments, and results]. *Geoekologiya*, 2020, no. 6, pp. 83–94. (in Russian)
15. Minakova, T.B., Zaikanov, V.G., Buldakova, E.V. *Podkhod k otsenke zagryazneniya pochvennogo komponenta prirodno-tekhnogennykh sistem dlya geokologicheskoi bezopasnosti goroda* [The approach to assessing pollution of soil component in natural-anthropogenic systems for urban geoenvironmental safety]. *Geoekologiya*, 2021, no. 6, pp. 89–96. (in Russian)
16. Osipov, V.I. *Prirodnye katastrofy: analiz razvitiya i puti minimizatsii posledstviy* [Natural disasters: analysis of development and ways to minimize consequences]. *Analiz, prognoz i upravleniye prirodnymi riskami v sovremennoy mire (GEORISK-2015). Materialy 9-i Mezhdunarodoi nauchno-prakticheskoi konf. po problemam snizheniya prirodnikh opasnostei i riskov* [Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world (GEORISK-2015). Materials of the 9th International Scientific and Practical Conference on the problems of reducing natural hazards and risks]. Moscow, RUDN Publ., 2015, no. I, pp. 10–12. (in Russian)

- dunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world (GEORISK-2015). Proc. 9th Int. Sci. and Pract. Conf. on the problems of reducing natural hazards and risks]. Moscow, RUDN, 2015, vol. 1, pp. 7–24. (in Russian)
17. Osipov, V.I., Burova, V.N., Zaikanov, V.G., Minakova, T.B. *Osnovy otsenki uyazvimosti territorii dlya opasnykh prirodnkh protsessov, metodicheskie podkhody* [Bases of vulnerability assessment of territories for hazardous natural processes, methodological approaches]. *Geoekologiya*, 2015, no. 3, pp. 195–203. (in Russian)
 18. *Otchety o deyatelnosti Federal'noi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2016–2018 gg.* [Annual report about the activities of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision in 2016–2018]. https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (in Russian)
 19. Porfir'ev, B.N. *Ekonomika prirodnkh katastrof* [The economy of natural disasters]. *Mir novoi ekonomiki* [The world of new economy]. 2015, no. 3, pp. 21–41. (in Russian)
 20. *Prirodnye opasnosti Rossii. Tom 6. Otsenka i upravlenie prirodnym riskom* [Natural hazards of Russia. Vol. 6. Assessment and management of natural risk]. A.L. Ragozin, Ed., Moscow, KRUK Publ., 2003, 320 p. (in Russian)