

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 504;502.64

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНОСТИ В ГОРОДЕ: ФОРМИРОВАНИЕ, ДИНАМИКА, ВОЗДЕЙСТВИЕ

© 2021 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 05.04.2021 г.

После доработки 28.05.2021 г.

Принята к публикации 24.06.2021 г.

Проблемы городов, в том числе экологические, прямо пропорциональны их росту. В настоящее время в городах сконцентрированы опасные производственные объекты и 75% населения страны. В статье дается характеристика возможных опасных техногенных факторов и установление их связей с природными опасностями. При тесном взаимодействии природных и техногенных факторов в городе формируются новые природно-техногенные опасности, которые объединены в семь групп; рассматривается принцип их образования. Для разрешения противоречия между интенсивной застройкой, приводящей к снижению устойчивости геологической среды, и сохранением экологической безопасности города требуются обоснование, выделение и обязательный учет природно-техногенных геоэкологических опасностей в нормативных документах.

Ключевые слова: опасные природные процессы, техногенные факторы, опасные производственные объекты, природно-техногенные опасности, экономический ущерб

DOI: 10.31857/S086978092105009X

ВВЕДЕНИЕ

Площади городов в мире, в том числе и в России, год от года расширяются и в настоящее время составляют менее 2% от площади суши. За последние десять лет по данным Росреестра площадь городов в Российской Федерации увеличилась на 400 тыс. га и превысила 8 млн га. Вместе с площадями городов пропорционально увеличиваются экологические проблемы в них. Большая часть мирового экологического неблагополучия связана именно с процессом урбанизации. Поэтому экологичность города – интенсивность использования природных ресурсов и создаваемой нагрузки на окружающую среду, является важным фактором в оценке их безопасности.

Обычно при оценке экологического состояния города согласно ст. 4 ФЗ № 7¹ учитывается загрязнение окружающей среды выбросами и сбросами загрязняющих веществ (ЗВ), образованием и накоплением твердых коммунальных отходов (ТКО). Их опасность оценивается в соответствии с категориями негативного воздействия на окру-

жающую среду (см. ФЗ № 219² с последующим уточнением, Постановление Правительства РФ № 2398³). Приоритетным показателем экологической оценки до сих пор остаются выбросы ЗВ в атмосферный воздух. Об этом свидетельствует соотношение показателей объемов затрат (6 : 1) на охрану атмосферного воздуха, защиту и реабилитацию компонентов геологической среды, а также объемов инвестиционных затрат в основной капитал (4 : 1), направляемых на охрану окружающей среды [2]. Однако в соответствии с введением новых критериев постановки на учет опасных производственных объектов (ОПО) с 2021 г. любой из них, даже не имеющий источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, должен считаться объектом негативного воздействия на окружающую среду (НВОС). Поэтому возникает необходимость уточнения перечня источников НВОС и их ранжирования.

² Федеральный закон о внесении изменений в ФЗ “Об охране окружающей среды” и отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изменениями на 26 июля 2019 года) от 21.07.2014 № 219-ФЗ.

³ Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 “Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий”. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_373399

¹ Федеральный закон “Об охране окружающей среды” от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/

Взаимодействие природных и техногенных факторов происходит в основном в пределах геологической среды (ГС), поэтому она выступает в качестве объекта исследований, а критерием оценки геоэкологической безопасности города является ее устойчивость. ГС максимально изменяется при строительстве и эксплуатации промышленных и гражданских объектов, а также в результате загрязнения и других видов негативного воздействия на нее. Вследствие этого среди экологических факторов целесообразно выделять самостоятельную геоэкологическую группу.

Термин – “геологическая среда”, широко используется и неоднозначно трактуется разными учеными. В.Т. Трофимов и В.А. Королев [16], придавая ноосферный смысл определению, считают, что ГС – область верхних горизонтов литосферы, находящаяся в прошлом, настоящем и будущем во взаимодействии с инженерно-хозяйственной деятельностью человека, качественно и количественно эволюционирующая во времени и являющаяся компонентом природных и природно-технических экосистем и возможным элементом геонногенеза. Поскольку объектом настоящего исследования является ГС города, нам ближе термин, предложенный Е.М. Сергеевым: “*Геологическая среда – верхняя часть литосферы, рассматриваемая как многокомпонентная система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, в результате чего происходит изменение природных геологических процессов и возникновение новых антропогенных явлений...*” [15]. В данном случае термин связывается с техногенной деятельностью человека, которая направлена, с одной стороны, на разрушение природной геологической среды, а с другой – на ее преобразование в результате строительства новых хозяйственных объектов.

В наших исследованиях геоэкологическая безопасность города понимается как отсутствие или минимальное (допустимое) воздействие опасных природно-техногенных факторов на человека, компоненты природы и объекты экономики. На основе этого определения геологическая среда выполняет три функции и рассматривается как:

- вмещающая среда для горных работ, подземных хранилищ, объектов городского хозяйства (подземные коммуникации, основания зданий и сооружений и др.);

- реципиент относительно техногенного воздействия со стороны ОПО, застроенных территорий, внешних отвалов, полигонов промышленных и коммунальных отходов;

- источник негативного воздействия на объекты экономики и коммуникации, вследствие агрессивных физико-химических свойств грунтов и подземных вод, на растительность и почвы,

загрязненные радиоактивными и токсичными веществами, и опосредованно на человека.

Таким образом, в экологической безопасности городской среды геологическая среда играет огромную роль.

Для выявления природно-техногенных опасностей необходимо проанализировать опасные природные и техногенные факторы и особенности их взаимодействия.

Природно-техногенная геоэкологическая опасность – результат взаимодействия опасных природных и техногенных процессов и факторов, представляющий угрозу для человека, компонентов природы (в том числе ГС) и объектов экономики. Воздействие природных и техногенных факторов на изменение состояния ГС будет различным, а конечные результаты могут быть одинаковыми. Система связей весьма сложная: существуют связи прямые (первого уровня), косвенные (многоуровневые) и обратные (замкнутые цепочки).

Воздействию природных факторов на устойчивость ГС городов уделялось достаточное внимание многими авторами (Бурова В.Н., Козлякова И.В., Котлов Ф.В., Кофф Г.Л., Кутепов В.М., Осипов В.И., Рагозин А.Л., Сергеев Е.М., Трофимов В.Т. и др.). Оценкой геоэкологической безопасности на протяжении двух последних десятилетий активно занимались авторы настоящей статьи. Так, было оценено проявление природных опасностей в городах России [13]. К неблагоприятным природным факторам, усложняющим условия строительства и эксплуатации промышленных и жилищных объектов, относятся подтопление, а также наличие слабых, обводненных и органоминеральных грунтов, эрозионные и др. процессы, учтенные при геоэкологической оценке городов России.

Цель настоящего исследования – установление особенностей формирования природно-техногенных опасностей, как результата взаимодействия природных и техногенных факторов на городской территории.

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

В городах, где сосредоточены ОПО, преобладают опасные техногенные факторы. Считается, что соотношение числа техногенных событий к природным процессам составляет примерно 3.5: 1⁴. Это подтверждается и расчетами авторов [5, 6].

Поэтому первостепенной задачей было определение характерных для города источников возможного техногенного прямого (например, разлив нефтепродуктов, стоки недоочищенных вод,

⁴ Статистика чрезвычайных ситуаций. URL: https://vuzlit.ru/141288/statistika_chrezvychaynyh_situatsiy

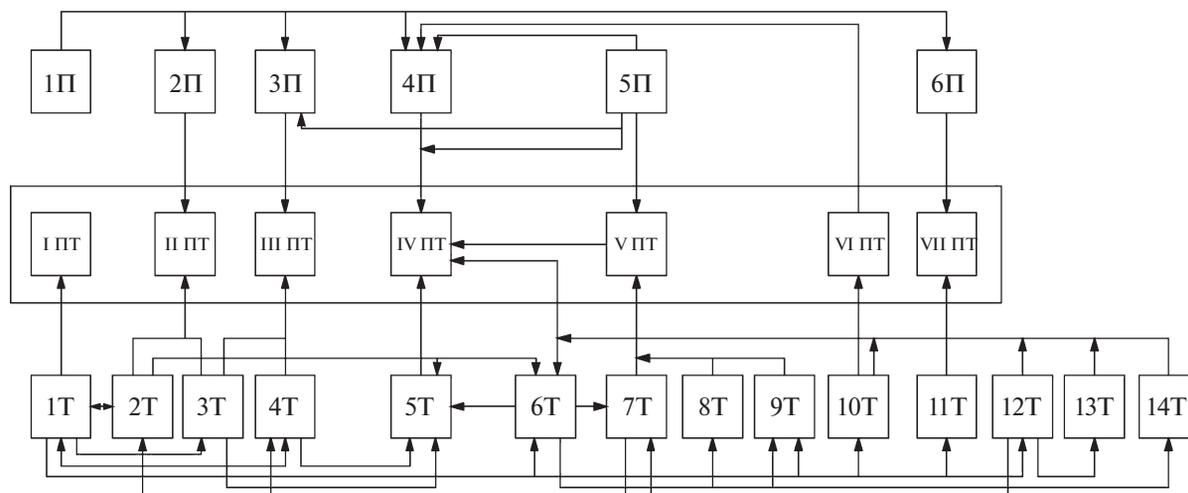


Рис. 1. Схема структуры формирования и взаимодействия возможных природно-техногенных геоэкологических опасностей на городской территории (пояснения в тексте).

накопление промышленных отходов) или косвенного (загрязнение почв токсикантами промышленного происхождения при выбросах в атмосферный воздух, деформация земной поверхности, различные последствия аварий) негативного воздействия на ГС. Кроме постоянного воздействия, внезапно могут случаться пожары, взрывы, аварии на транспортных и энергетических системах, коммунальных системах жизнеобеспечения, очистных сооружениях и т.д.

Вторая задача заключалась в анализе возможных взаимосвязей техногенных факторов с природными опасностями и ГС. Первоначально устанавливались связи первого порядка, но поскольку возникали сложные цепочки взаимозависимостей, рассматривались связи и других порядков.

Взаимодействие природных и техногенных факторов может привести к возникновению комплексной природно-техногенной опасности, т.е. ситуации, когда даже относительно слабое природное воздействие вызывает серьезную техногенную аварию (деформация грунта и разрывы нефтепровода) и, наоборот, постоянные утечки из водонесущих коммуникаций способствуют расширению подтопленных территорий (рис. 1).

На представленной схеме индексами обозначены:

– **природные опасности:** 1П – землетрясения; 2П – суффозионно-карстовые процессы; 3П – оползневые процессы; 4П – слабые грунты; 5П – высокий УПВ; 6П – радиоактивность, радоноопасность.

– **техногенные опасности:** 1Т – техногенные землетрясения, 2Т – подземные горные выработки; 3Т – подземное строительство; 4Т – открытые

горные разработки; 5Т – техногенные грунты; 6Т – высокоплотная застройка; 7Т – откачка воды; 8Т – утечки из водонесущих коммуникаций; 9Т – аварии на водонесущих коммуникациях; 10Т – аварии на гидротехнических сооружениях (ГТС); 11Т – последствия аварии на АЭС и других подобных объектах; 12Т – промпредприятия, аварии на них и скважинах, трубопроводах; 13Т – промышленные отходы; 14Т – объекты складирования или захоронения ТКО.

– **группы природно-техногенных опасностей:** I ПТ – техногенно-сейсмическая; II ПТ техногенно-провально-просадочная; III ПТ – техногенно-гравитационная; IV ПТ – техногенно-грунтовая; V ПТ – техногенно-гидрогеологическая; VI ПТ – аварийно-гидрологическая; VII ПТ – радиационно-радоновая.

На схеме верхний блок представлен некоторыми, наиболее часто встречающимися в городах, природными опасностями, нижний – основными техногенными опасностями, а средний блок – потенциальными природно-техногенными опасностями, формирующимися при их взаимодействии. Схема является обобщающей, отражающей возможные связи и зависимости. Некоторые дополнительные связи анализируются более подробно ниже. При этом природные и техногенные опасности рассматриваются только с позиций оценки их возможной трансформации в природно-техногенные опасности.

Для каждого города характерен определенный набор природно-техногенных опасностей. Основной критерий их выявления – соотношение природных и техногенных признаков, к числу которых относятся: вид источника опасности (природные процессы или техногенные объекты),

причина проявления (что может стать толчком), возможные последствия.

Природное землетрясение (1П) может привести к серьезному нарушению земной поверхности на большой площади, разрушению объектов экономики, но в настоящей статье эта природная опасность не рассматривается. Однако и человек может спровоцировать землетрясение (1Т), например, подземными ядерными испытаниями. Значительный сейсмический эффект вызывают подземные горные работы, мощные взрывы в карьерах и др. Особенно опасны техногенные землетрясения на сейсмоопасных территориях. Известны также техногенные землетрясения, вызванные нагнетанием жидкости под напором в глубокие скважины. Причиной землетрясения может послужить и непосредственно извлечение нефти и газа. Техногенные землетрясения могут проявляться при заполнении крупных водохранилищ.

Последствиями природно-техногенных землетрясений (I ПТ) первого уровня могут быть не только нарушение земной поверхности – трещины, провалы, но и активизация экзогенных геологических процессов (ЭГП) – 2П и 3П, обвалы в шахтах (2Т) и на карьерах (4Т), подвижка грунтовых масс (4П, 5Т), а как следствие, на следующих уровнях взаимодействия – деформация и разрушение зданий и сооружений (6Т, 9Т, 10Т), аварии на ОПО (12Т), радиационное и геохимическое загрязнение территории (11Т, 12Т) и т.д.

Вмешательство человека в естественный ход развития ЭГП может вызвать их активизацию и привести к необратимым последствиям. Суффозионно-карстовые провалы и оседания земной поверхности (2П) возникают на территориях многих городов (Москва, Дзержинск, Казань и др.) при наличии карстующихся пород, растворяющей способности подземных или фильтрующих с поверхности вод, а также соответствующей гидродинамической обстановки (7Т, 8Т и 9Т) и др.

Города, в границах которых или вблизи которых есть горнодобывающие предприятия, испытывают разнообразное прямое и косвенное техногенное воздействие. При подземной добыче полезных ископаемых (2Т) образуются пустоты, провалы и мульды оседания. Например, большая часть жилой застройки г. Березники расположена над шахтами ПАО «Уралкалий», ведущего разработки Верхнекамского месторождения калийно-магнезиальных солей. На некоторых участках пустоты распространены в 250–300 м от поверхности. Например, в 2007 г. на территории рудника в районе фабрики технической соли произошел провал. Воронка образовалась в месте прорыва грунтовых вод в рудник. Позднее было выделено шесть по-

тенциально опасных зон территории г. Березники⁵.

Эксплуатация шахт сопровождается техногенными опасностями: взрывами метана, изъятием пустой породы (5Т), формированием терриконов и т.д. Над закрытыми подземными разработками полезных ископаемых возникают провалы, прогибы поверхности. Например, в Кузбассе подземные выработки тянутся на многие километры, и здесь ежегодно в среднем образуются до 50 провалов.

Мощным фактором воздействия на ГС является подземное строительство (3Т). Оно вызывает изменение напряженно-деформированного состояния горных пород, возникновение различных деформаций, образование мульды оседания (например, вдоль трасс метрополитена). Часто такое строительство ведется при интенсивном водоотливе (7Т) от возводимых сооружений, вызывающем снижение гидростатических напоров и статических уровней горизонтов подземных вод. Подземное строительство сопряжено с изъятием и перемещением огромных объемов земляных масс (5Т) и сопровождается необходимостью их складирования на земной поверхности.

Таким образом, процесс образования пустот в недрах, а также воронок, провалов, мульды оседания на поверхности относится к числу природно-техногенных опасностей (II ПТ), тесно связанных с образованием техногенных грунтов (5Т), изменением режима подземных вод (7Т). Несущие конструкции зданий, построенных на подрабатываемых территориях без осуществления защитных мероприятий, под воздействием смещений земной поверхности деформируются, возникают повреждения в виде трещин, перекосов и т.д.

Действующий карьер по добыче полезных ископаемых (4Т) – техногенный объект, возникновение которого обусловлено запросом экономики. Его деятельность сопряжена с возможностью провоцирования техногенного землетрясения (I ПТ) (пример обратной связи), с образованием техногенных грунтов (5Т), порой с необходимостью откачки воды (7Т). Согласно некоторым наблюдениям часто площадь территории с проявлением влияния горных разработок превышает в 10 и более раз площадь собственно горных работ. В Старооскольском-Губкинском промышленном районе в результате работы дренажных систем Лебединского и Стойленского карьеров, шахты им. Губкина, функционирования водозаборов подземных вод для водоснабжения близлежащих городов, хвостохранилищ и Старооскольского водохранилища площадь депрессионной ворон-

⁵ URL: <https://nashural.ru/mesta/permskij-kraj/provaly-v-bereznikah-i-solikamske/> <https://fb.ru/article/355738/provaly-i-v-bereznikah-opisanie-istoriya-i-posledstviya>

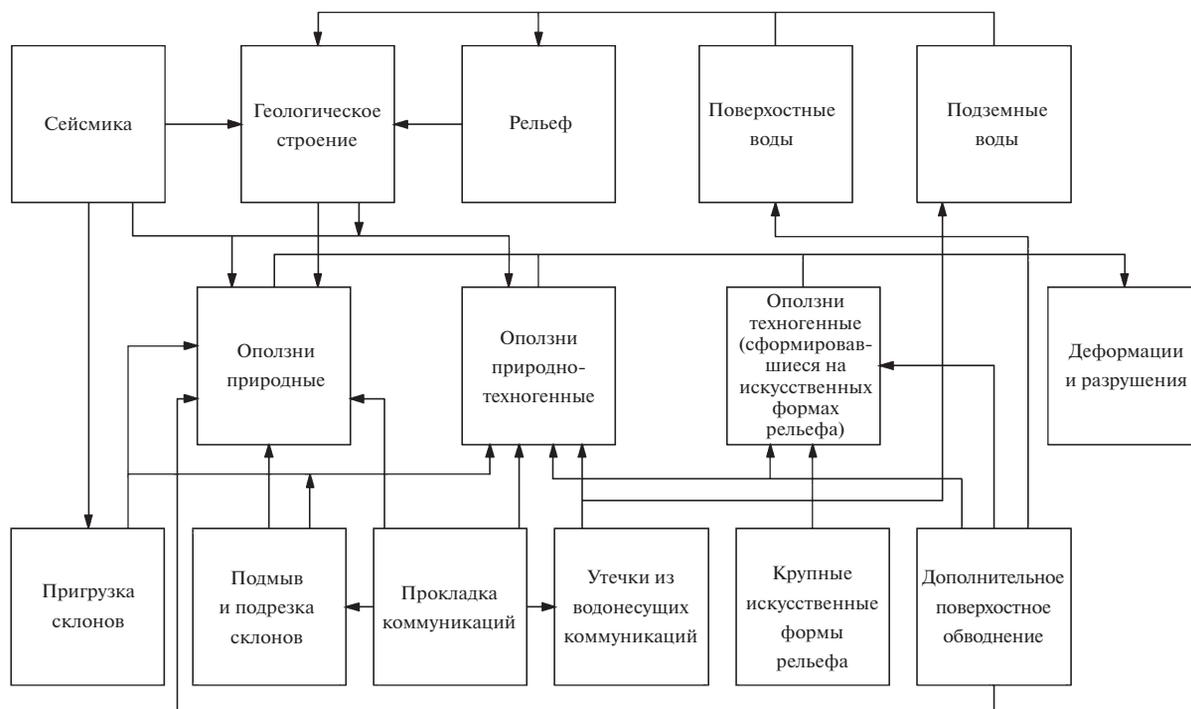


Рис. 2. Формирование природных, природно-техногенных, техногенных оползней.

ки составила 300 км² [14]. Закрытый карьер – это отрицательная форма техногенного рельефа, порой неподлежащая рекультивации, подверженная развитию эрозии и оползней (3П).

Подземное строительство, добыча и переработка полезных ископаемых связаны с необходимостью складирования большого количества пустой породы (5Т) и отходов обогащения (13Т), а также формированием техногенного рельефа и нарушением гидрогеологического режима (7Т).

Другой опасный процесс – оползневой (3П). Оползни могут быть природными, природно-техногенными и техногенными (рис. 2).

Сход оползня может провоцироваться природными причинами (обильные осадки, снеготаяние и др.) либо деятельностью человека, например, подрезка склона при строительстве, техногенное землетрясение (1Т). Во втором случае это природно-техногенная опасность. Техногенный оползень может возникнуть на таких объектах, как борт карьера (4Т), насыпной склон горнолыжной трассы или полигона складирования ТКО (14Т) и т.д. Например, исследования, проводимые на территории КМА, показали, что на склонах отвалов развиваются активные оползневые и эрозионные процессы, которые препятствуют их естественному зарастанию. В городах преобладают оползни природно-техногенного характера.

В городе может происходить смещение грунтов под действием гравитации при природно-тех-

ногенных оползнях (3П), а чаще – искусственное перемещение грунтовых масс (ПП) при строительстве (3Т) и горнодобывающей деятельности (2Т и 4Т).

После возведения здания или сооружения состояние грунтов основания значительно изменяется в результате перераспределения начального напряженного состояния, нарушения естественного теплового режима и условий аэрации, изменения гидрогеологического режима. На участках промышленных предприятий и жилых массивов в зону аэрации могут поступать сточные и загрязненные воды, воды утечек. Агрессивность среды и изменение физико-механических свойств грунтов приводит со временем к деформации фундаментов и строительных конструкций за счет неравномерных осадок, набухания и др. Переувлажнение грунтов при подтоплении (5П) и затоплении территории в результате прорыва плотины (VI ПТ) также снижает их несущую способность. Под длительным действием статических нагрузок плотной застройки могут изменяться структура и некоторые свойства грунтов естественных оснований технических сооружений. При разработке котлована вблизи фундаментов существующих зданий вследствие снижения напряжения в массиве грунта ниже дна котлована и рядом с ним уменьшается несущая способность их оснований [10]. В местах прокладки труб теплоцентралей нарушается тепло-

вой режим грунтов, формируется поле блуждающих токов.

Наличие слабых природных (4П) и техногенных грунтов (5Т), характерное для многих городов, представляет определенную угрозу для технических объектов – их деформации и разрушению. Одним из примеров является “врастание” жилых зданий в землю в результате большой осадки поверхности со слабыми или переувлажненными грунтами [9].

Таким образом, преобладание в городе техногенных и наличие слабых грунтов создает определенную опасность для объектов экономики (6Т и 12Т) – формируется IV ПТ природно-техногенная опасность.

Активное строительство в городах, сопровождается нарушением земель, их доля в общей сумме нарушаемых площадей составляет 17%. В местах приложения чрезвычайной статической нагрузки происходит оседание поверхности, особенно при искусственном водопонижении (7Т). В результате вибрации при движении транспорта, действия строительных механизмов, взрывов на грунты передаются дополнительные динамические нагрузки. Оседание поверхности возможно на разуплотненных грунтах (IV ПТ). Причинами оседания также являются: подземное строительство (3Т), водозаборы (7Т) и др.

В крупных городах доля запечатанных территорий на отдельных участках может составлять 80% [11]. Покрытие поверхности непроницаемыми асфальтобетонными материалами, застройка территорий – причины деградации городских почв и повышения нагрузки на ливневую канализацию. Запечатанные почвы и грунты имеют измененный воздушный, водный и тепловой режимы, что представляет угрозу биоразнообразию, способствует повышению температуры в городе.

Гидрогеологические условия городских пространств характеризуются нарушением естественного водного баланса, с одной стороны – интенсивная эксплуатация подземных вод, а с другой – питание грунтовых вод за счет утечек из подземных коммуникаций (8Т и 9Т), инфильтрации поливных вод, сброса сточных вод. Для многих городов характерен процесс повышения уровня подземных вод (УПВ), вплоть до подтопления жилых зданий и промышленных объектов. При прокладке подземных коммуникаций в условиях подтопления повышается агрессивность вод и грунтов, которая сопровождается коррозией труб и, следовательно, новыми утечками (пример обратной связи). В результате повышается УПВ и расширяются площади подтопления.

Подтопление (V ПТ) – природно-техногенный процесс широко распространен на городских территориях. При строительстве и эксплуатации инженерных сооружений нарушается ре-

жим и условия питания и дренирования грунтовых вод, баланс инфильтрации и испарения. Этот процесс играет существенную роль в активизации ЭГП, увлажнении грунтов и, в итоге, в снижении устойчивости ГС.

В России насчитывается более 25 тыс. опасных гидротехнических объектов. Причиной их разрушения могут быть землетрясения, размывы дамб паводками, оползни и др., а также и техногенные факторы. Прорывы сопровождаются затоплением обширных территорий и значительным ущербом [5]. Это – природно-техногенная опасность VI ПТ.

В городах существует природная (6П) и техногенная (11Т) радиационная опасность. Сочетание их источников на одной территории представляет природно-техногенную опасность (VII ПТ). В стране более 700 крупных радиационно-опасных объектов и около 7.3 тыс. организаций, осуществляющих свою деятельность с использованием радиоактивных веществ. Средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников (6П), составляет около 0.35 мкЗв/год. Суммарный вклад космогенных радионуклидов в индивидуальную дозу составляет около 15 мкЗв/год. Наибольший вклад в дозу вносит радон. Основным источником этого радиоактивного инертного газа является земная кора. В природную среду поступают в больших количествах естественные радионуклиды, извлекаемые из недр и содержащиеся в фосфорных удобрениях, продуктах сжигания газа и угля. Техногенный источник радона в помещении – строительные материалы (бетон, кирпич, пемза, гранит и др.), содержащие естественные радионуклиды. Источниками облучения являются атомные электростанции (АЭС). При неправильной эксплуатации АЭС могут выделяться радиоактивные вещества, угрожающие окружающей среде. В таких случаях последствия могут распространяться далеко за пределы 30-километровой СЗЗ. Так, в результате аварии на Чернобыльской АЭС загрязнению подверглось более 200 тыс. км². Особую угрозу создают объекты хранения и переработки отработавшего ядерного топлива.

Загрязненные радионуклидами территории имелись на 18 предприятиях отрасли. Общая площадь загрязненных территорий составляла более 112 км² [2]. Однако оценка в 2018 г. показала, что отношение фактических показателей к годовым предельно допустимым выбросам (ПДВ), рассчитанным и утвержденным для каждой АЭС, было значительно ниже и находилось на уровне не выше 2–3% от ПДВ. Фактические значения активностей жидких сбросов в окружающую среду и поступление радионуклидов в поверхностные воды по отношению к допустимому сбросу (ДС),

рассчитанному и утвержденному для каждой АЭС, были меньше допустимых и не превышали 1.5% величины ДС.

Рассмотренная схема (см. рис. 1) с выделением семи групп природно-техногенных опасностей отражает принцип их формирования. Некоторые природные и техногенные факторы принимают участие в нескольких группах природно-техногенных опасностей. Конечно, здесь представлены далеко не все возможные варианты формирования других видов опасностей.

Так, для большинства городских территорий будет характерно геохимическое загрязнение таких компонентов ГС, как почвы, грунты, подземные воды. В городах сосредоточены основные источники геохимического загрязнения природных сред: промышленные, транспортные, энергетические, коммунально-бытовые и т.д., и одновременно здесь концентрируется население – основной реципиент неудовлетворительного состояния окружающей среды. В результате производственной деятельности (ИТ) происходит загрязнение почв и грунтов химическими токсикантами, нефтью, нефтепродуктами и др.

Одним из источников загрязнения почв, подземных и поверхностных вод являются выбросы в атмосферу, распространяемые на большие расстояния. В последнее десятилетие ведутся наблюдения за загрязнением почв тяжелыми металлами на 1.5% городских земель, где размещаются предприятия металлургические, энергетики, машиностроения и металлообработки и т.д. Особенно сильно загрязнены тяжелыми металлами (ТМ) почвы километровой зоны вокруг крупного источника промышленных выбросов в атмосферный воздух. Однако радиус их распространения может достигать нескольких километров [2, 3]. В крупных промышленных городах происходит наложение загрязнения от отдельных техногенных источников, и тогда общая площадь негативного воздействия может быть близкой к городской площади или превосходить ее. Таким образом, результаты техногенных выбросов на втором уровне отражаются на изменении состояния компонентов ГС – почв, горных пород и вод.

В соответствии с действующим природоохранным законодательством РФ функции по контролю и надзору в сфере природопользования и области охраны окружающей среды возложены на федеральный орган исполнительной власти – Росприроднадзор, а – экологического контроля в строительстве на Федеральную службу по экологическому, технологическому и атомному надзору – Ростехнадзор. В целях получения достоверной информации об объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, организован государственный учет таких объектов. На конец 2018 г. в государственном реестре

было зарегистрировано более 170 тыс. ОПО. Из них преобладающее большинство составляют объекты III класса опасности (52.6%), а также IV класса опасности (41.7%). К ОПО II класса опасности относятся 4.5%, а к I классу опасности – около 2 тыс. объектов (1.15% от общего числа).

Для различных видов экономической деятельности характерны особые сочетания преобладающих видов загрязняющих веществ и разной степени опасности. Согласно классификации промышленности по экологической опасности [17] к особенно опасным относятся предприятия цветной металлургии и микробиологии. В группу очень опасных вошли предприятия химической, нефтехимической, черной металлургии и теплоэнергетики, в группу опасных – деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной. Радиус их воздействия может существенно меняться в зависимости от мощности предприятия. Например, при росте производительности металлургического комбината в 3.5 раза, радиус воздействия может увеличиться в 4.5 раза [3]. Предприятия отрасли цветной металлургии отличаются наибольшим выходом промышленных отходов на единицу продукции. Сбросы сточных вод характеризуются сложным полиэлементным содержанием вследствие применяемых технологий. Последствием производства черных металлов является формирование геохимических аномалий в природных средах, нарушение земель, в том числе отвалы золы, шлаков и шламов. На геологическую среду оказывает воздействие тепло, выделяемое объектами теплоэнергетики и металлургии, что приводит к изменению водно-физических свойств грунтов.

Об объемах воздействия на ГС можно судить на примере двух видов экономической деятельности угле- и нефтедобычи. На их долю от общего по стране валового выброса в атмосферный воздух вредных веществ стационарными источниками приходилось в 2018 г. – 31%, а отходов – около 70%. Площадь нарушенных земель на конец 2018 г. – 619.7 тыс. га, что составило 78% от всей нарушенной площади в РФ [2].

Часто различные производственные объекты города, прямо или косвенно взаимодействуя между собой, образуют единую систему организации хозяйственного управления на базе общих ресурсных циклов. На одной промплощадке могут быть размещены объекты, дополняющие друг друга или ограничивающие возможности функционирования соседа.

В качестве примера можно привести г. Череповец Вологодской обл., в котором расположены один из крупнейших в России металлургический комбинат ПАО “Северсталь”, ОАО “Северсталь-Метиз” и АО “Апатит”, занимающие первые ме-

ста в стране по производству соответственно метизов и фосфатных удобрений. На долю черной металлургии приходится 85% и химической промышленности 10% валового продукта города. Эти предприятия размещаются на одной промплощадке, площадь которой около 1/2 площади самого города и примыкает к его селитебной зоне с юго-востока⁶.

Через атмосферные выбросы происходит до 70% оседания токсичных веществ. При этом загрязнены не только территории промплощадок, но и почвы близлежащих селитебных зон. Промышленные отходы, в том числе и токсичные, складываются в шламонакопителях и отвалах на территориях предприятий и города. На АО «Аммофос» отходы производства серной кислоты – пиритный огарок, и отходы производства фосфорной кислоты – фосфогипс, удаляются гидротранспортом в шламонакопитель.

Некоторые предприятия Череповца сбрасывают свои сточные воды непосредственно в ливневую канализацию, не имеющую очистных сооружений, с последующим направлением их в водные объекты города. Поэтому, в частности по данным 2019 г., качество воды Рыбинского водохранилища по показателю индекса загрязнения воды (УКИЗВ) в пунктах наблюдений выше и ниже Череповца, а также воды р. Кошта в городе относятся к категории 4А «грязная» [7].

Размещение на одной площадке производств разного профиля грозит возникновением цепной реакции событий при техногенной аварии на одном из них (12Т). Увеличение числа синергетических опасных явлений, когда одно событие порождает другое, влечет за собой большие негативные последствия.

Один из объективных показателей, отражающий состояние промышленной безопасности ОПО, – аварийность, в большинстве случаев приводящая к негативным последствиям не только для технических устройств и зданий, но и для человека, и для компонентов природы. Для определения потенциальной геоэкологической опасности необходимо установить наиболее характерные для городов виды аварий, вероятность их возникновения и размеры возможных последствий. Частота, виды и сложность промышленных аварий зависят от специфики экономической деятельности отраслей.

В результате анализа данных годовых отчетов о деятельности Ростехнадзора за несколько лет (2016–2019 гг.)⁷ были получены результаты рас-

пределения ОПО по различным видам экономической деятельности и их аварийности (рис. 3).

Среднегодовое число аварий по видам экономической деятельности изменяется от 1 до нескольких десятков в год. При этом отмечается общая тенденция для данных видов экономической деятельности снижение числа аварий к 2019 г. Максимальное среднегодовое количество аварий характерно для отрасли газораспределения и газопотребления с самым многочисленным числом ОПО. Такие аварии встречаются, как правило, в населенных пунктах, но их воздействие по сравнению с другими ОПО относительно незначительное. Причинами частого выброса газа на внутригородских сетях является механическое повреждение трубопроводов при производстве земляных и ремонтных работ, работе транспорта и т.п. Минимальным числом аварий отличились ОПО химической отрасли и оборонно-промышленного комплекса (ОПК). На таких объектах, по-видимому, осуществляется особенно строгий экологический контроль.

В РФ 148 городов (с численностью более 100 тыс. человек) расположены в зонах повышенной химической опасности. Наибольшее число аварий происходит на предприятиях, производящих, хранящих и транспортирующих хлор, аммиак, ацетилен, минеральные удобрения, гербициды, продукты органического и неорганического синтеза. К числу высоконагруженных производствами химического профиля относятся города: Дзержинск, Новочебоксарск, Кирово-Чепецк, Березники и др. Аварии на металлургических заводах в городах Челябинск, Серов, Новый Оскол, Череповец, Нижний Тагил были связаны в основном с нарушением технологических процессов.

В городах высокая плотность газораспределительной сети низкого давления и объектов использования нефтепродуктов (АГС, АЗС, заводы нефтепереработки и др.). Для ОПО по переработке нефтехимического сырья характерны взрывы с последующим возгоранием, что приводит к разрушению оборудования и даже зданий, но в пределах территории самих предприятий. Однако при разрушениях образуются дополнительные отходы и, следовательно, возрастают объемы их складирования, что оказывает негативное воздействие на природные компоненты.

Преобладающие виды аварий – выбросы опасных веществ, включая газ; разливы нефтепродуктов, выпуск расплавов и раскаленных газов из металлургических агрегатов (34% всех аварий), затем пожары и взрывы (31%). В 2018 г. доля последних составила 48.5% от всех техногенных аварий. Прямые последствия аварий на предприятиях – повреждения оборудования и зданий, а также выбросы и утечки загрязняющих веществ в природные компоненты.

⁶ Генеральный план муниципального образования «Город Череповец». Т. 1. Череповец. 2020. 338 с. URL: <https://st.cherinfo.ru/pages...materialy-po-obosnovaniu.docx>

⁷ URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/



Рис. 3. Соотношение количества ОПО и аварийности по видам экономической деятельности.

Существенный вклад в ухудшение геоэкологического состояния ГС оказывает складирование производственных отходов и ТКО. Отходы переработки сырья (13Т), порой чрезвычайно опасные, размещаются в хвосто- и шламохранилищах, занимающих большие площади, иногда в пределах городской застройки. Так, площадь территорий, занимаемых промышленными отходами металлургических предприятий, — более 1300 км², в золошлакоотвалах содержится около 2 млрд т веществ, отходы очистных сооружений достигают 100 млн т⁸ и т.д. Для городов с ОПО характерно загрязнение почв токсикантами промышленного происхождения [4]. Загрязнение природных компонентов сопровождается изменением агрессивных свойств воды и грунтов, важных для инженерных объектов.

Статистика аварий за длительный период позволяет определить ориентировочную вероятность события. На рис. 4 на основе данных годовых от-

⁸ URL: <https://www.dpo.rudn.ru/data/novie-vozmozhnosti-dlyakajdogo/likvidazia-uwerba/1/module1.pdf>

четов о деятельности Ростехнадзора за 2016–2019 гг. приведена расчетная вероятность аварий на ОПО по видам экономической деятельности.

Видно, что максимальная вероятность проявления аварии характерна для ОПО угольной промышленности, а минимальная для ОПО хранения и переработки растительного сырья, возможно благодаря своей локальности и незначительных размеров.

Кроме вероятности проявления наиболее часто повторяющихся аварий следует учитывать фактор времени их проявления. Этот фактор также важен для оценки групп природно-техногенных опасностей, так как некоторые из них могут возникать внезапно, другие проявляются периодически или действуют постоянно (табл. 1).

К внезапным — можно отнести природно-техногенные группы опасностей, провоцируемые авариями на ОПО или естественными землетрясениями: II ПТ — техногенно-провально-просадочная группа, отличающаяся образованием отрицательных форм техногенного рельефа (воронки, пустоты, провалы, прогибы); III ПТ —

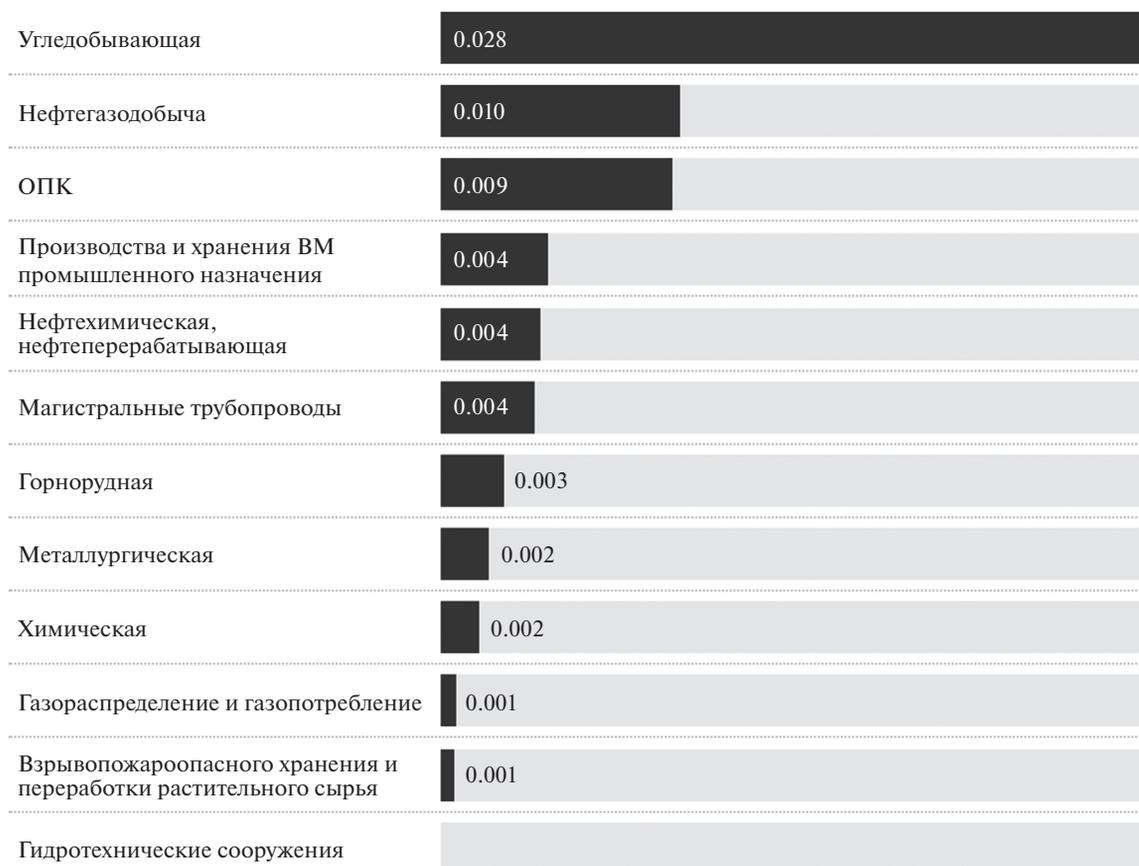


Рис. 4. Расчетная среднегодовая вероятность аварий на ОПО по видам экономической деятельности.

техногенно-гравитационная, характеризующаяся преимущественно положительными формами техногенного рельефа (отвалы, терриконы, оползни и т.д.); VI ПТ – аварийно-гидрологическая, провоцируемая аварией на ГТС.

Периодическое проявление опасностей характерно для развития оползней, а также техногенных землетрясений (I ПТ группа техногенно-сейсмическая), значительных утечек из водонесущих коммуникаций (III ПТ).

Длительным временем проявления отличается техногенно-грунтовая группа опасностей (IV ПТ) – наличие исходных слабых грунтов и накопле-

ние техногенных грунтов в процессе хозяйственной деятельности человека.

Постоянно действующие природно-техногенные опасности представлены тремя группами: техногенно-грунтовой (см. выше), техногенно-гидрогеологической – подтопления (V ПТ), радиационно-радоновой (VII ПТ).

Совместный анализ информации, представленной на рис. 1 и в табл. 1, позволяет сделать предположение об отсутствии связи между причинами формирования природно-техногенных опасностей и временном их проявлении.

В результате анализа взаимодействия природных и техногенных факторов авторы выделили

Таблица 1. Временной фактор проявления геоэкологических опасностей

Геоэкологическая опасность	Временное проявление			
	внезапное	периодическое	длительное	постоянное
Природная	1П	3П	2П; 5П	4П; 6П
Техногенная	9Т; 10Т; 11Т; 12Т	1Т; 8Т	2Т; 3Т; 4Т; 5Т; 7Т; 11Т; 13Т; 14Т	5Т; 6Т; 12Т
Природно-техногенная	II ПТ; III ПТ; VI ПТ	I ПТ; III ПТ	IV ПТ	IV ПТ; V ПТ; VII ПТ

семь групп природно-техногенных опасностей для ГС. Представленные на рис. 1 и рассмотренные в статье – это далеко не все возможные природно-техногенные опасности, а только наиболее часто встречающиеся. Одной из задач настоящего исследования было показать принципы и особенности формирования природно-техногенных опасностей.

ОБ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

В научных публикациях и нормативных документах неоднократно предпринимались попытки классифицировать виды экономической деятельности по экологической опасности для природной среды в целом, а также по коэффициентам токсичности выбросов и сбросов загрязняющих веществ. Согласно существующим нормативным актам для отнесения того или иного предприятия к определенной категории опасности учитываются следующие условия: уровень негативного воздействия на окружающую среду; вид экономической деятельности; класс опасности сбрасываемых веществ; уровень токсичности, наличие мутагенных свойств в отходах; отнесение к объекту атомной энергетики.

Для обоснованной оценки рисков, интеграции статистики о них и причиняемом ущербе Ростехнадзор предложил Методику определения риск-ориентированного интегрального показателя промышленной безопасности (РОИП ПБ)⁹. Показатель рассчитывается путем установления связи между числовыми значениями групп факторов в баллах (с учетом их весов, определенных экспертным путем) и лингвистическими переменными, характеризующими показатели с позиций промышленной безопасности.

Применительно к урбанизированным территориям В.Н. Буровой [1] разработан подход к оценке природно-техногенной опасности через показатель риска. В качестве реципиентов относительно сложных инженерно-геологических условий выбраны застроенная жилая и транспортная зоны. Варианты сочетаний природных и техногенных факторов оцениваются в условных баллах, определенных экспертным путем. В результирующей матрице представлены оценки 530 возможных природно-техногенных ситуаций в баллах в зависимости от числа факторов, их значений и связей. Дальнейшее развитие этих исследований автору видится в необходимости соотнесения балльных оценок риска с экономическими эквивалентами.

Авторами настоящей статьи предлагается использовать в качестве показателя оценки природ-

но-техногенной опасности – возможные отклики города на такое воздействие, количественно выражаемые величиной экономического ущерба. Привлечение стоимостных значений позволяет избежать проведения трудоемкой экспертной оценки и обеспечивает реальную сопоставимость получаемых результатов. По ориентировочным расчетам потенциальный ущерб от проявления только опасных природных процессов (подтопление, наводнения, оползневые и суффозионно-карстовые процессы, землетрясения), проведенным по 139 городам России с населением более 100 тыс. чел., в среднем на один город составил более 600 млн руб. (в ценах 2018 г.) [13].

В настоящее время в статистических материалах отсутствуют данные не только ущербов, но и показателей, позволяющих определить эту величину. В городах, как известно, больший ущерб наносят ОПО. В таком случае для подобной оценки могли бы оказаться полезными данные реестра НВОС. Однако эти показатели не являются достаточно открытыми. Кроме того, значения НВОС мизерные по сравнению с реальными ущербами, причиняемыми природным компонентам, человеку и самим объектам экономики. По данным Росстата, в 2018 г. плата за НВОС (13 млрд руб.) составила менее 2% относительно природоохранных затрат. Структура суммарных платежей за НВОС следующая: выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными объектами – 14.4%, сбросы загрязняющих веществ в водные объекты – 20.1%, размещение отходов производства и потребления – 62.4%, выбросы загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа – 3.1%.

Но существуют и другие виды негативного влияния на окружающую среду, которые налогом не облагаются. Например, загрязнение почв, превышение шума, вибрации или электромагнитных излучений, внезапное проявление опасных природных процессов, провоцируемое хозяйственной деятельностью, и др. могут приводить к значительным экономическим ущербам.

Ниже анализируются результаты оценки аварий на предприятиях. Среднегодовой ущерб от одной аварии, рассчитанный на основании данных годовых отчетов Ростехнадзора (2017–2019 гг.), колеблется по отраслям от менее 1 млн руб. до сотен миллионов рублей (рис. 5).

Максимальные значения получены для ОПО горнорудной промышленности, где преобладают аварии при проведении подземных работ (например, обрушение горной породы). Для открытых разработок эта величина меньше – 170 млн руб. [12]. Минимальные значения ущербов характерны для объектов производства и хранения взрывчатых материалов промышленного назначения,

⁹ <https://gpmliftservis.ru/uploads/files/20180409-120157.pdf>

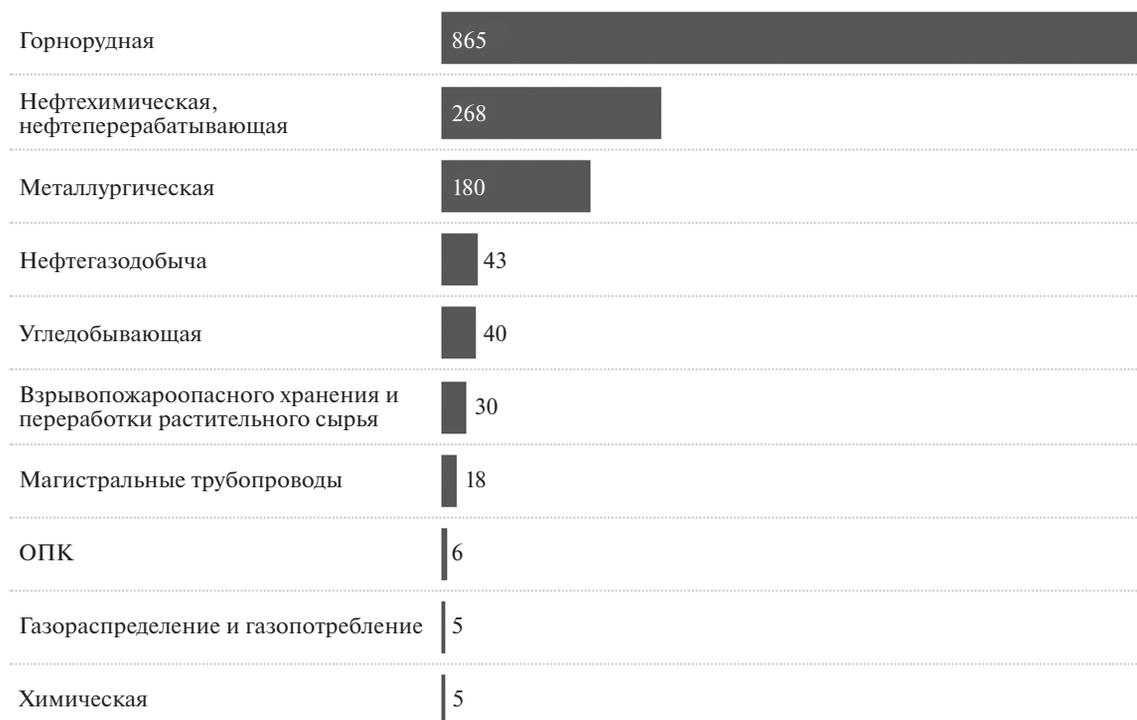


Рис. 5. Ориентировочный среднегодовой ущерб (млн руб.) от одной аварии по видам экономической деятельности.



Рис. 6. Показатели среднегодовых ущербов от аварий по некоторым отраслям и отдельным объектам.

химической отрасли и ОПК, возможно благодаря повышенному контролю безопасности на таких объектах.

Соотношение величин ущербов по некоторым отраслям и их отдельным объектам представлено на рис. 6.

Видно, что показатели ущербов, рассчитанные по примерам, превышают средние отраслевые показатели ущербов. Достаточная представительность примеров характерна для объектов нефтяной отрасли. Порядок отраслевых значений ущербов и значений по примерам близок для

нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий. При этом диапазон величин ущерба по отдельным ОПО значителен: от сотен тысяч до нескольких миллионов рублей, что указывает на огромное разнообразие видов и масштабов аварий.

По рассматриваемым видам экономической деятельности средний ущерб от одной аварии в 2018 г. составил 34 млн руб. в основном из-за разрушения оборудования и различных технических устройств. На долю же экологического ущерба приходится ориентировочно 3% этой суммы.

Сравнение значения НВОС и экологического ущерба заставляет думать об огромном недоучете экологической составляющей. Судя по примерам, экологический ущерб рассчитывается далеко не всегда и, как правило, в случаях загрязнения водных объектов. Оправданием этому являлись невозможность измерять степень воздействия ОПО на компоненты природы и отсутствие нормы определения необходимой платы.

Встает вопрос, возможно ли увеличить сумму НВОС за счет ежегодного прироста регистрируемых объектов, а также — введения новых, облагаемых налогом показателей рассмотренных выше природно-техногенных опасностей, реально существующих и оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Сегодня, когда ведутся мониторинги и прогнозируются опасные геологические процессы, осуществляется надзор за состоянием ОПО и их промышленной безопасностью, уже настало время изучения и разработки подходов к оценке и других воздействующих природно-техногенных негативных факторов, особенно в городах.

Для сохранения экологической безопасности страны выделяется очень мало бюджетных финансовых средств — 0,88% государственного консолидированного бюджета (2018 г.), эту долю необходимо увеличить до 7–12%, как в развитых странах мира [8]. При переходе на экономическую экологию, когда экология станет выгодной государству и экономике, необходимо расширить круг учитываемых негативов, дополнив их геоэкологическими видами. Наряду с совершенствованием системы учета выбросов, сбросов, размещения промышленных отходов и ТКО, следует разработать систему дополнительных геоэкологических показателей, методику оценки последствий проявления природно-техногенных опасностей и соответствующие стоимостные нормативы. Средства, собираемые Росприроднадзором, должны направляться на решение именно экологических проблем, при этом платежи за НВОС должны быть выше стоимости ликвидации негативных последствий.

Учет полного экологического ущерба позволит увеличить бюджет страны, сейчас доля НВОС

в прямом доходе консолидированного бюджета от природных ресурсов и природопользования в РФ 0,14%. Для сохранения и улучшения состояния окружающей среды, минимизации ущерба необходимо внедрять на ОПО успешные природоохранные технологии. При этом экономически выгоднее увеличить целевое выделение средств на природоохранные мероприятия, так как реабилитация природной среды в случае нанесения ей ущерба обходится существенно дороже, а отдаленные последствия негативного воздействия на окружающую среду могут быть непредсказуемы.

ВЫВОДЫ

Предлагаемая схема структуры формирования возможных природно-техногенных геоэкологических опасностей на городской территории является первым шагом представления взаимодействия природных и техногенных опасностей. Необходимо отметить, что представленные группы природно-техногенных опасностей не охватывают всех возможных вариантов. Дальнейшее исследование предусматривает расширение учитываемых опасных факторов. Предложенный подход позволит перейти от частных показателей природных и техногенных индикаторов к комплексным природно-техногенным индикаторам геоэкологической оценки качества городской среды.

Основными источниками техногенного воздействия на геологическую среду в городе являются промышленные предприятия. Степень их влияния отражается на приведенных графиках по различным отраслям.

В целях улучшения экологической обстановки в городах и обеспечения их безопасности необходим полный учет негативных процессов и явлений, стимулируемый эффектом декаплинга — разрешения противоречия между интенсивной застройкой городов, приводящей к снижению устойчивости ГС (в связи с возрастающей разрушающей, статической и загрязняющей нагрузками) и сохранением экологической безопасности города (за счет увеличения доли инвестирования в охрану природной городской среды, включения геоэкологической составляющей в НВОС, снижения негативного воздействия предприятий на окружающую среду, предупреждения формирования природно-техногенных опасностей).

Существующее природоохранное законодательство отстает от требований сегодняшнего дня. Предлагаемая схема формирования природно-техногенных геоэкологических опасностей — начало пути к обоснованию, выделению и обязательному их учету в нормативных документах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурова В.Н. Основные принципы оценки риска урбанизированных территорий // *Геозкология*. 2020. № 5. С. 78–88.
<https://doi.org/10.31857/S0869780920050021>
2. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году”. М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2020. 1000 с.
3. Дьяконов К.Н., Дончева А.В. Экологическое проектирование и экспертиза: учеб. для вузов / К.Н. Дьяконов, А.В. Дончева. М.: Аспект Пресс, 2002. 384 с.
4. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2019 году. Обнинск: ФГБУ “НПО “Тайфун”, 2020. 129 с.
5. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Матвеева Л.А. Геоэкологическое районирование и градостроительное зонирование поселений уровня “городской округ – город” // *Геозкология*. 2018. № 1. С. 68–78.
6. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В., Савицько И.С. Геоэкологические ограничения при проектировании реорганизации городского пространства // *Геозкология*. 2017. № 4. С. 82–96.
7. Зайцев В.С. Анализ природоохранной деятельности предприятий горно-металлургической отрасли на примере Череповецкого комбината ПАО “Северсталь” // *Экономика в промышленности*. 2020. Т. 13. № 2. С. 244–256.
8. Калачев А. В новой экологической политике экология станет экономической категорией. М., 2021. URL: <https://regnum.ru/news/polit/3212412.html>.
9. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 262 с.
10. Кофф Г.Л., Минакова Т.Б., Котлов В.Ф. и др. Методические основы оценки техногенных изменений геологической среды городов. М.: Наука, 1990. 197 с.
11. Кошелева О.Ю. Оценка запечатанности почвенного покрова города Волгограда // *Вестник ВГУ. Сер. География, геоэкология*. 2019. № 1. С. 12–18.
12. Лубенская О.А., Климова Е.В., Храмов Б.А., Ростовцева А.А. Оценка аварийности и производственного травматизма при разработке полезных ископаемых открытым способом // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2013. № 1. С. 140–144.
13. Минакова Т.Б., Заиканов В.Г., Булдакова Е.В. Геоэкологический след в городах России: подходы, оценки, результаты // *Геозкология*. 2020. № 6. С. 83–94.
<https://doi.org/10.31857/S0869780920040098>
14. Петин А.Н., Крамчанинов Н.Н., Погорельцев И.А., Уколов И.М. Оценка техногенного воздействия на подземные воды в зоне влияния Старооскольско-Губкинского промышленного комплекса // *Известия Самарского национального центра РАН*. 2013. Т. 15. № 3. С. 945–953.
15. Сергеев Е.М. Проблемы инженерной геологии в связи с охраной и рациональным использованием геологической среды // *Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология*. 1987. № 5. С. 77–86.
16. Трофимов В.Т., Королев В.А. Новые ноосферные представления о геологической среде // *Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология*. 2014. № 3. С. 61–65.
17. Экология и безопасность: Справочник [в 3-х т.] / Под. ред. Н.Г. Рыбальского. М.: ВНИИПИ, 1993. Т. 2. Ч. 4. С. 49–50.

NATURAL AND HUMAN-INDUCED GEOENVIRONMENTAL HAZARDS IN THE CITY: FORMATION, DYNAMICS, AND IMPACT

V. G. Zaikanov^{a,#}, T. B. Minakova^a, and E. V. Buldakova[#]

^a *Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per., 13, str. 2, Moscow, 101111 Russia*

[#] *E-mail: v.zaikanov@mail.ru*

The problems of cities, including environmental problems, are directly proportional to their growth. Currently, dangerous production facilities and 75% of the country’s population are concentrated in cities. The article describes possible hazardous human-induced factors and reveals their links with natural hazards. With a close interaction between natural and technogenous factors, new natural and human-induced hazards appear in the city, which are grouped into seven groups. The principle of their formation is also considered. To resolve the contradiction between intensive development, which leads to a decrease in the stability of the geological environment, and the need to preserve ecological safety of the city, it is necessary to justify, identify and consider the natural and human-induced geohazards in regulatory documents.

Keywords: *hazardous natural processes, human-induced factors, dangerous industrial enterprises, natural and human-induced hazards, economic damage*

REFERENCES

- Burova, V.N. *Osnovnye printsipy otsenki riska urbanizirovannykh territorii* [The main principles of risk assessment in urbanized areas]. *Geoekologiya*, 2020, no. 5, pp. 78–88. <https://doi.org/10.31857/S0869780920050021>. (in Russian)
- Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei srede Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu* [State Report "On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2019"]. Moscow, Minprirody Rossii; MGU im. M.V. Lomonosova, 2020, 1000 p. (in Russian)
- Dyakonov, K.N., Doncheva, A.V. *Ekologicheskoe proektirovanie i ekspertiza* [Environmental design and expertise]. Moscow, Aspekt Press, 2002, 384 p. (in Russian)
- Ezhegodnik. Zagryaznenie pochv Rossiiskoi Federatsii toksikantami promyshlennogo proiskhozhdeniya v 2019 godu* [Yearbook. Contamination of soils of the Russian Federation with toxicants of industrial origin in 2019]. Obninsk, FGBU NPO Taifun, 2020, 129 p. (in Russian)
- Zaikanov, V.G., Minakova, T.B., Matveeva, L.A. *Geoekologicheskoe raionirovanie i gradostroitel'noe zonirovaniye poselenii urovnya "gorodskoi okrug – gorod"* [Geoecological and urban zoning of settlements at the "city district – city" level]. *Geoekologiya*, 2018, no. 1, pp. 68–78. (in Russian)
- Zaikanov, V.G., Minakova, T.B., Buldakova, E.V., Savis'ko, I.S. *Geoekologicheskies ogranicheniya pri proektirovanii reorganizatsii gorodskogo prostranstva* [Geoenvironmental constraints for planning rearrangement of urban space]. *Geoekologiya*, 2017, no. 4, pp. 82–96. (in Russian)
- Zaitsev, V.S. *Analiz prirodookhrannoi deyatel'nosti predpriyatii gorno-metallurgicheskoi otrasli na primere Cherepovetskogo kombinata PAO "Severstal"* [Analysis of environmental protection activities of mining and metallurgical enterprises on the example of the Cherepovets Combine of PJSC Severstal]. *Ekonomika v promyshlennosti*, 2020, vol. 13, no. 2, pp. 244–256. (in Russian)
- Kalachev, A. *V novoi ekologicheskoi politike ekologiya stanet ekonomicheskoi kategoriei* [In the new environmental policy, ecology will become an economic category]. Moscow, 2021. URL: <https://regnum.ru/news/polit/3212412.html>.
- Kotlov, F.V. *Izmenenie geologicheskoi sredy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka* [Changes in the geological environment under the influence of human activity]. Moscow, Nedra Publ., 1978, 262 p. (in Russian)
- Koff, G.L., Minakova, T.B., Kotlov, V.F. et al. *Metodicheskie osnovy otsenki tekhnogennykh izmenenii geologicheskoi sredy gorodov* [Methodological bases for assessing technogenic changes in the geoenvironment of cities]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 197 p. (in Russian)
- Kosheleva, O.Yu. *Otsenka zapechatannosti pochvennogo pokrova goroda Volgograda* [Assessment of sealing of the soil cover of the city of Volgograd]. *Vestnik VGU. Ser. Geografiya, geoekologiya*. 2019, no. 1, pp. 12–18. (in Russian)
- Lubenskaya, O.A., Klimova, E.V., Khramtsov, B.A., Rostovtseva A.A. *Otsenka avariinosti i proizvodstvennogo travmatizma pri razrabotke poleznykh iskopaemykh otkrytym sposobom* [Assessment of accidents and industrial injuries during the open-pit mining]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2013, no. 1, pp. 140–144. (in Russian)
- Minakova, T.B., Zaikanov, V.G., Buldakova, E.V. *Geoekologicheskii sled v gorodakh Rossii: podkhody, otsenki, rezul'taty* [Geoecological footprint in Russian cities: approaches, estimates, and results]. *Geoekologiya*, 2020, no. 6, pp. 83–94. DOI: 10.31857/S0869780920040098. (in Russian)
- Petin, A.N., Kramchaninov, N.N., Pogorel'tsev, I.A., Ukolov, I.M. *Otsenka tekhnogenogo vozdeistviya na podzemnyye vody v zone vliyaniya Starooskol'sko-Gubkinskogo promyshlennogo kompleksa* [Assessment of technogenic impact on groundwater in the zone of influence of the Starooskolsko-Gubkinsky industrial complex]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2013, vol. 15, no. 3, pp. 945–953. (in Russian)
- Sergeev, E.M. *Problemy inzhenernoi geologii v svyazi s okhranoi i ratsional'nym ispol'zovaniem geologicheskoi sredy* [Problems of engineering geology in connection with the protection and rational use of the geological environment]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 4. Geologiya*. 1987, no. 5, pp. 77–86. (in Russian)
- Trofimov, V.T., Korolev, V.A. *Novye noosfernye predstavleniya o geologicheskoi srede* [New noospheric ideas about the geological environment]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 4. Geologiya*, 2014, no. 3, pp. 61–65. (in Russian)
- Ekologiya i bezopasnost'* [Ecology and safety]: A reference book [in 3 vol.]. N.G. Rybalskii, Ed. Moscow, VNIPI, 1993, vol. 2, part 4, pp. 49–50. (in Russian)