

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА
ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 504;502.64

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛЕД В ГОРОДАХ РОССИИ:
ПОДХОДЫ, ОЦЕНКИ, РЕЗУЛЬТАТЫ

© 2020 г. Т. Б. Минакова^{1,*}, В. Г. Заиканов¹, Е. В. Булдакова¹

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

*E-mail: yasenevo312@mail.ru

Поступила в редакцию 01.04.2020 г.

После доработки 25.05.2020 г.

Принята к публикации 25.05.2020 г.

Геоэкологический след — один из наиболее важных показателей экологической безопасности городов. Предложен подход к его оценке, определяемой величиной экономического ущерба при проявлении опасных геоэкологических процессов. Апробация подхода проводилась в городах России с численностью населения более 100 тыс. человек при расчете ущербов от пяти наиболее распространенных опасных природных процессов и показала сопоставимость получаемых результатов. Подтверждено влияние на величину геоэкологического следа природно-социальных особенностей городов. Не установлена зависимость ущерба в городах от их площади и численности населения. Определена возможность рассмотрения показателя геоэкологического следа как индекса геоэкологической безопасности городов.

Ключевые слова: геоэкологический след, геоэкологическая безопасность, сравнительный анализ, потенциальный ущерб

DOI: 10.31857/S0869780920060065

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в результате активизации процесса освоения городских территорий идет масштабная застройка жилых микрорайонов в рамках программ расселения ветхого жилья, реновации и др. Растущая плотность застройки, транспортные проблемы, освоение подземных пространств сопровождаются нарушением устойчивости геологической среды и ухудшением экологической обстановки в городах.

В условиях глобальных изменений в природе и обществе назрела острая необходимость адаптации национальной системы территориального планирования к современным реалиям. Стремительная урбанизация обуславливает поиск современных решений в проектировании устойчивой городской среды, обеспечивающих комфортное и безопасное проживание человека. Для этого проектировщики и население должны обладать актуальной информацией о современном геоэкологическом состоянии города. Достоверная информация о предрасположенности к развитию и возникновению опасных природно-техногенных процессов также необходима для оценки безопасности городских пространств, интегральным показателем которой может служить геоэкологический след.

Почти для каждого города характерны те или иные опасные природные процессы и явления, которые необходимо оценивать в целях обеспечения безопасности жизнедеятельности населения. Большая часть объектов экономики представляет потенциальную опасность, а масштаб последствий может многократно усиливаться в случае возникновения катастрофических или опасных природных явлений. При активной хозяйственной деятельности человека происходит активизация экзогенных геологических процессов и, наоборот, под воздействием природных опасностей страдают объекты экономики. Геодинамической активностью территории объясняется наибольшая частота техногенных аварий.

Современная экологическая городская политика должна учитывать сложный комплекс взаимодействия природных процессов и техногенеза, т.е. рассматривать город как систему: человек и его деятельность в природе на ограниченной территории. Оценка последствий такого природно-техногенного взаимодействия, выраженная через величину потенциального экономического ущерба при проявлении опасных геоэкологических процессов, — геоэкологический след — важная составляющая в оценке степени безопасности городского пространства [3]. Поэтому сегодня актуальной задачей является разработка подходов к

комплексной оценке последствий негативного воздействия геоэкологических факторов.

Цель данного исследования — разработка методического подхода к оценке геоэкологической безопасности городов.

АЛГОРИТМ И ОБЪЕКТЫ ОЦЕНКИ

Согласно алгоритму оценки степени обеспеченности геоэкологической безопасности городов [2], последовательность действий заключается в:

- идентификации, прогнозировании и предупреждений опасностей;
- разработке аппарата оценки;
- поиске, выборе и обосновании нормативов оценки и корректирующих коэффициентов, отражающих вероятность события и уязвимость реципиентов;
- расчетах возможных потерь для различных сценариев реализации опасностей;
- выявлении определенных закономерностей на основе анализа получаемых результатов.

Задачей настоящего этапа исследований являлся поиск подходов к оценке возможных последствий реализации опасных природных процессов на урбанизированной территории.

Устойчивость городской системы, ее надежность и в конечном итоге безопасность для человека в значительной мере определяется качеством проектирования не только технических объектов, но и их взаимодействием с геологической средой. Существующие геологические процессы, с одной стороны, в значительной мере усложняют задачу проектировщиков, а с другой, — ”провоцируют” дальнейшее свое развитие как компонента созданной динамичной природно-техногенной системы.

Степень опасности отдельного процесса зависит от его площадного распространения, интенсивности и активности проявления, а также от степени освоенности (уязвимости) городского пространства. Процент пораженности территории какими-либо процессами устанавливается на основании анализа природных особенностей территории размещения города, схем генпланов городов, архивных материалов или собственного исследования.

Анализ генпланов городов, расположенных в различных регионах страны, специальных карт, литературных и фондовых источников, использование собственного опыта при проведении полевых работ — все это позволило установить комплекс опасных природных процессов, наиболее типичных для городов России, снижающих комфортность проживания и безопасность городской территории. На городских территориях, где развита мощная структура жилищно-коммунального хо-

зяйства, ежегодно по разным причинам возникают аварийные ситуации, связанные с техническим состоянием различных объектов (деформации жилых домов, локальные провалы земной поверхности в пределах дорог и тротуаров, прорывы подземных коммуникаций различного назначения и др.).

Карстово-суффозионные процессы, оседания, оползни, как и наводнения, и землетрясения особо влияют на безопасность эксплуатации объектов экономики. Эта группа процессов не только наиболее распространенная, но и многообразная по генезису, вероятности и продолжительности проявления, охвату площадей и т.д. Так, поражение городской территории может быть крупным при землетрясении и наводнении или локальным при сходе оползня. Подтопление практически постоянный процесс в большей части городов. Землетрясения происходят стихийно, наводнения сезонно.

В качестве объектов оценки опасности природных процессов на урбанизированных территориях на первом этапе были выбраны города России с численностью населения более 100 тыс. человек, расположенные в различных физико-географических провинциях, в которых проживает около 51% всего населения страны. Таких городов в России — 171. Из их числа были отобраны 139 городов по следующим критериям:

- сочетание нескольких опасных процессов (из числа выбранных: наводнения, землетрясения, карстово-суффозионные, оползни, подтопление),
- разнообразие природных и социально-экономических условий городов,
- обеспеченность исходной информацией.

Почти все рассматриваемые города в той или иной степени подтоплены, в основном, в результате хозяйственной деятельности, которая приводит к нарушению режима подземных вод (засыпка естественных дрен и водотоков, утечки из водонесущих коммуникаций и т.п.). По доле подтопленной площади города выборки распределяются следующим образом: в половине из них подтопленная площадь составляет 10–20%, в 1/3 — 20–40%, в 14% городов такая площадь может достигать 80%, в остальных она менее 10%. Поскольку города исторически возникали на берегах рек и других водных объектов, большинство из них находятся под угрозой высоких паводков или нагонных явлений. Так, в 7 городах выборки, расположенных не только на равнине, но и в низкогорьях, в период паводка может затопливаться до 25% площади.

Оползневая опасность может проявляться в 134 городах, из них в 4 городах отмечается возможная оползневая опасность на 15% их площади. Потенциальной карстово-суффозионной

опасностью отличаются 137 городов выборки, однако 20–35% площади поражения отмечаются в 5 городах в пределах возвышенной местности, сложенной карстующимися породами. Из данной выборки в сейсмоопасных зонах (с балльностью более 6) в горах и предгорьях находятся 32 города. Из них в 10 городах возможны землетрясения в 7 баллов, в 18-ти – 8, в 4-х – 9 и более баллов.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИТЕРИЯ И ПОДХОД К ЕГО ОЦЕНКЕ

Усложнение экономических отношений, развитие рыночных взаимосвязей обуславливают необходимость совершенствования уже устоявшихся, а также разработку и появление новых механизмов управления экологической безопасностью. Плата за вредные воздействия природных и природно-техногенных процессов является одним из рычагов экономического механизма обеспечения экологической безопасности, регулирования природопользования и охраны природной среды [4].

Повышению экологической безопасности страны и особенно городов способствуют прогнозирование проявлений опасных природных процессов и оценка их последствий – экономического ущерба. Поскольку город особая система с прямыми и обратными положительными и отрицательными связями, то эта взаимозависимость выражается в экономических показателях в виде ущерба от геоэкологических нарушений и природоохранных затрат. Природоохранными затратами можно заблаговременно предупредить негативные последствия геоэкологического воздействия, и таким образом не допустить их, т.е. свести ущерб к нулю.

За критерий геоэкологической безопасности авторами предлагается принять *минимально допустимый потенциальный ущерб от воздействия геоэкологических процессов на городскую среду*.

В мировой науке развиваются два направления оценки экологического ущерба – теория оценки экосистемных услуг и затратная концепция оценки [5]. В России преобладает разобренный набор отдельных методик и методических рекомендаций, разрабатываемых практически начиная с 1983 г. различными министерствами и ведомствами, как общего характера, так и отраслевого назначения. Однако, как правильно отмечает Е.В. Рюмина [9], разработано множество методов количественной оценки ущерба, но нет четкого определения самой его сущности, и они не отвечают современным условиям.

“Нормативный” способ оценки экологических ущербов не предусматривает анализа ситуации, не позволяет получить объективные оценки,

сопоставимые с рыночными реалиями, учесть все виды вреда окружающей среде, например, потерю экосистемных услуг, вред от потери биоразнообразия и многие другие. Кроме того, такой подход не предназначен для расчета будущего или проектного ущерба. Однако на сегодня это наиболее применяемый подход к оценке экологического ущерба [6].

Следует заметить, что оценка в денежном выражении величины потенциального ущерба, причиняемого городской среде, – весьма сложная задача из-за отсутствия открытой необходимой информации и общепризнанных методик проведения подобных расчетов. Существующая система природоохранных норм и нормативов, стимулирующих деятельность в области охраны окружающей среды, явно недостаточна. В состав стоимостных нормативов в настоящее время входят только базовые показатели платы за выбросы и сбросы вредных веществ, а также за размещение отходов. Форма расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду определяется законом “Об охране окружающей среды”¹ и иными федеральными законами. В них предписывается оценивать причиненный экологический вред по затратам на восстановление нарушенного состояния окружающей среды с учетом понесенных убытков, в том числе упущенной выгоды, но на практике это далеко не всегда реализуется. Макроэкономические оценки экологического ущерба, а также оценки ущерба при проектировании в законодательстве не отражаются. Это создает правовой вакуум при разработке проектной документации [10].

Законодательно-нормативными документами в области экологии не устанавливаются формы расчета платы за негативное воздействие, приводящее к экономическому ущербу, а среди декларируемых видов негативного воздействия отсутствуют опасные природные процессы. Цена же норматива последствий, к которым может привести отсутствие прогнозирования или превышение допустимого уровня, не просчитана. Применительно к последствиям проявления опасных природных процессов, в частности рассматриваемых в данной статье, вообще отсутствуют экономические нормативы.

Принимая во внимание вышеназванные недостатки нормативного подхода для обеспечения сравнительного анализа городов по показателю “геоэкологический след” (в рамках выбранных опасных процессов и городов), расчет величины ущерба осуществлялся с учетом вероятности проявления опасных природных процессов и уязвимости территории. Таким образом, учитывался

¹ ФЗ № 7 от 10.01.2002 “Об охране окружающей среды” (в ред. от 27.12.2019) ст. 77 ч. 3 (в ред. ФЗ № 219 от 21.07.2014). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901808297>

как ущерб наносимый (воздействие процессов), так и претерпеваемый (изменение состояния реципиентов в зависимости от их уязвимости). На практике сначала определяется ущерб, который терпят реципиенты, а затем, путем анализа и моделирования воздействия природных процессов, претерпеваемый ущерб распределяется по источникам воздействия. В результате дисконтирования наносимый ущерб может оказаться меньше претерпеваемого в 2 раза [9].

Поскольку существующая система природоохранных норм и нормативов явно недостаточна, при оценке в качестве нормативной величины были приняты конвертированные в национальную валюту и дисконтированные к текущему моменту времени значения ущербов применительно к рассматриваемым процессам, предложенные А.Л. Рагозиным еще в 1993 г. [8] и используемые многими авторами до сих пор. Кстати, эти величины косвенно отражают и интенсивность проявления той или иной опасности, а их значения близки к показателям, определенным на основании затратного метода ранее авторами при геоэкологических оценках.

Учитывая, что используется *условная нормативная база*, предлагаемая оценка будет иметь несколько условный характер и касаться в большей степени потенциального ущерба. В практике территориального планирования принцип “условности” применим к оценке обеспечения условной экологической безопасности населенных мест и их систем [11]. Принимаемые нами за нормативные величины ущербов от негативных процессов рассчитывались относительно среднего в выборке города, площадь которого 24 тыс. га и население 404 тыс. чел. Эти показатели можно также использовать при относительных оценках для определения весового коэффициента значимости отдельных природных процессов.

В целях сопоставимости городов между собой по оценкам геоэкологической опасности **потенциальный суммарный годовой ущерб** от всех процессов в городе нормировался на единицу его площади, т.е. рассчитывалась величина **потенциального удельного ущерба** (B_{yg}) для отдельно взятого города по выражению:

$$B_{yg} = \sum_{i=1}^n \frac{S_g \cdot P_{ig} \cdot k_{rig} \cdot k_{rjg} \cdot C_i}{S_g}, \text{ [руб./Га в год]},$$

где g – индекс города, i – вид учитываемого процесса, n – число учитываемых процессов, S_g – площадь территории города, [га]; P_{ig} – доля площадь распространения процесса i -го вида от городской площади, [б.р. или %]; k_{rig} – показатель вероятности проявления i -го вида процесса, [б.р.]; k_{rjg} – показатель уязвимости преобладающего реципиента на территории, подверженной процессу i -го вида, [б.р.]; C_i – удельный экономи-

ческий ущерб от проявления i -го вида процесса², [руб./га в год] (принимаемый авторами за нормативную величину).

При расчетах исключались площади, подтопленные менее, чем на 10% от площади города, а также площади оползнеопасные, карстово-суффозионно опасные и затапливаемые во время паводка и нагонов с моря менее, чем на 5%. В сейсмоопасных зонах учитывались города с балльной опасностью больше 6.

Для оценки ущерба от опасных природных процессов, включая стихийные, важны принципы долгосрочной перспективы и взаимозависимости. Один из важнейших факторов при прогнозных расчетах – учет вероятности проявления события. Коэффициент вероятности устанавливается на основе динамики повторяемости конкретного события каждого вида с территориальной привязкой. Для этого привлекались данные из проектных материалов, в частности, генпланов городов, региональные данные прогнозов развития экзогенных геологических процессов и возникновения и развития ЧС на территории субъектов РФ и др.³

Различные реципиенты в городе будут по-разному реагировать на одинаковое воздействие опасных процессов. Поэтому необходимо учитывать их реакцию в зависимости от уязвимости [7]. Коэффициенты уязвимости реципиентов основывались на стоимостной кадастровой оценке преобладающего вида недвижимости в городах Чем плотнее и ценнее застройка, тем большим будет ущерб в пересчете на 1 га пораженной площади.

Считаем предлагаемый подход оправданным, и в настоящее время единственно возможным. Во-первых, расчет производится в условиях отсутствия утвержденных природоохранных стоимостных нормативов применительно к природным процессам. Во-вторых, гарантированным способом достижения высокой сопоставимости всего многообразия учитываемых природных процессов и возможных последствий их совместного проявления, а также реципиентов, является использование стоимостных значений ожидаемого экономического ущерба, отражающего возможные потери.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ

Суммарные по совокупности всех процессов в городе значения оценок определяются, главным образом, уже существующим подтоплением обширных площадей. Годовая площадь поражения

² Нормативное значение C_i единое для всех городов применительно к i -му процессу.

³ Расчетные значения k_{rig} изменяются в пределах рассмотренных городов от 0.002 до 1, k_{jig} от 1 до 2.1.

Таблица 1. Структура результатов оценки ущерба от опасных природных процессов в %

Показатели	Природные процессы					Итого
	Подтопление	Затопление	Землетрясение	Оползневой	Карстово-суффозионный	
Расчетная суммарная площадь распространения опасного процесса в городах выборки	93.4	3.0	0.4	1.7	1.5	100
Рассчитанный суммарный ущерб в городах выборки	81.3	13.2	0.2	3.3	2.0	100
Суммарный экономический ущерб от природных процессов в РФ*	14/30	13/28	8/18	11/24	н.д.	н.д./100

*В числителе доля от суммарного ущерба от всех природных процессов [geographyofrussia.com>ocenka-prirodnogo-riska/], в знаменателе – доля от совокупности рассматриваемых процессов.

городской территории другими процессами определялась с учетом вероятности проявления опасного процесса. В горных районах увеличивается роль оползневой и сейсмической опасности. Потенциальный ущерб от проявления опасных процессов, кроме площадей их распространения, напрямую зависит от выбора нормативных значений потерь и от реципиента, попадающего в зону поражения. Распределение площадей поражения рассматриваемыми процессами и потенциально-го ущерба в городах выборки отражено в табл. 1.

Из данных табл. 1 видны существенные различия в значениях ущерба в городах и в целом по территории страны. Это объясняется, с одной стороны, набором только пяти наиболее распространенных в городах процессов, учетом вероятности их проявления и уязвимости реципиентов. С другой стороны – на территории страны более широкий спектр процессов (например, только на долю плоскостной и овражной эрозии приходится около 24% от общего ущерба от природных процессов), кроме того наводнение рассматривалось в сочетании с переработкой берегов, оползни с обвалами. Преобладание ущерба от подтопления характерно для обеих оценок.

При настоящей оценке не учитывалось возможное совмещение на одном участке нескольких опасных процессов. В среднем по выборке площадь поражения процессами составляет 48% территории города (для подтопления расчет производился на застроенную территорию). Общая площадь поражения в городе несколькими процессами представлена их суммой. Поэтому в 5-ти городах площадь поражения превысила общую площадь города, в 27 городах она составила более 75% их территории за счет совмещения нескольких опасных процессов на одном участке.

Однако последствия реализации опасных процессов, как и уязвимость реципиентов, могут заметно отличаться от такого “суммирования” площадей. Определение зависимости значений оценки отдельных опасностей при территориаль-

ном и временном совмещении их проявления – задача последующих исследований.

Результаты расчетов удельного ущерба позволили установить: какой город геоэкологически опаснее/безопаснее относительно других.

На карте “Оценка природного риска для хозяйственной деятельности и проживания” [1] только в 10-ти городах с населением более 100 тыс. человек вероятный ежегодный ущерб превышает 100 млн руб. в год. По нашим расчетам, эта величина (с учетом ее дисконтирования) на настоящий момент уже в 32 городах значительно выше. При этом в наших расчетах учитывались только 5 опасных природных процессов в отличие от упомянутой карты, отражающей и метеорологические опасные явления.

С целью определения зависимости потенциального годового ущерба от природных особенностей, города были привязаны к физико-географическим выделам ранга провинций согласно карте физико-географического районирования России (табл. 2).

На рис. 1 представлены города выборки, дифференцированные по природным провинциям, с учетом убывания рассчитанного удельного значения ущерба – геоэкологического следа. Пики повышения опасности отражают начало списка городов в данной провинции, на основании чего можно судить не только о территориальной привязке городов, но и о возможной зависимости полученных результатов от природных особенностей. Однако последнее не нашло четкого отражения на графике, что, очевидно, связано не только с комплексом учитываемых природных факторов, но и со спецификой экономики каждого города.

Минимальные значения рассчитанного потенциального удельного ущерба для городов характерны в основном для одиночных или небольших групп (2–3 объекта) городов в пределах физико-географических провинций низкогорий Предуралья, предгорий Крыма, Кавказа и Даль-

Таблица 2. Распространение опасных природных процессов в городах, расположенных в разных физико-географических провинциях

№	Краткая геолого-геоморфологическая характеристика физико-географических провинций*	Число городов выборки в физико-географической провинции	Основные опасные процессы и их максимально возможное распространение в городах
1	Возвышенная равнина, частично скалистые кряжи, граниты, гнейсы	3	Подтопление до 90%, затопление до 40%
2	Низменная равнина, карбонатные породы, ледниковые и водно-ледниковые породы, карст	3	Подтопление до 40%, затопление до 15%, оползневая и карстово-суффозионная опасность соответственно до 12% и до 15%
3	Возвышенная моренная равнина, известняки девона и карбона, пески и глины юры и мела, карст, оползни	14	Подтопление до 30%, затопление до 25%, оползневая и карстово-суффозионная опасность до 20%.
4	Рельеф низменный, известняки карбона, юрские и меловые отложения, моренные суглинки, пески водно-ледниковые, заболачивание	3	Подтопление до 35%, затопление до 28%, оползневая и карстово-суффозионная опасность соответственно до 10% и 8%
5	Слабоволнистые равнины, пермские рыхлые мезозойские породы, ледниковые отложения, овражная эрозия	8	Подтопление до 70%, затопление до 25%; оползневая и карстово-суффозионная опасность соответственно до 12% и 8%
6	Рельеф низменный, задровые равнины, в основном породы палеозоя, ордовикские известняки и песчаники, заболачивание и абразия	2	Подтопление до 20%, затопление до 10%
7	Возвышенность, юрские, меловые (доломиты, известняки, мел) и четвертичные породы большой мощности, овражная эрозия, карст	19	Подтопление до 70%, затопление до 10%, оползневая и карстово-суффозионная опасность соответственно до 8% и до 23%
8	Рельеф возвышенный, глубоко расчлененный, известняки (казанские), карст	2	Подтопление до 20%, затопление до 10%, карстово-суффозионная опасность до 15%
9	Возвышенные равнины, мезозойские пермско-триасовые глины, песчаники, мергели, известняки, карст	5	Подтопление до 70%, затопление до 18%, оползневая и карстово-суффозионная опасность до 7%
10	Низменность, палеозойские породы и мощные четвертичные пески и глины	3	Подтопление до 20%, оползневая опасность до 7%
11	Возвышенная равнина (до 300 м), известняки девона, юрские и меловые песчано-глинистые и меловые породы, карст, овражная эрозия	8	Подтопление до 35%, затопление до 15%; оползневая и карстово-суффозионная опасность соответственно до 18% и до 35%

Таблица 2. Продолжение

№	Краткая геолого-геоморфологическая характеристика физико-географических провинций*	Число городов выборки в физико-географической провинции	Основные опасные процессы и их максимальное возможное распространение в городах
12	Рельеф равнинный, реже холмистый, меловые, палеогеновые и неогеновые морские и неогеновые четвертичные континентальные отложения	9	Подтопление до 30%
13	Низменные равнины, известняки, песчаники, глины палеогена и неогена	5	Подтопление до 60%, затопление до 15%
14	Низкотеррасный рельеф, известняки карст	3	Сейсмическая опасность до 9 баллов, оползневая и карстово-суффозионная опасность соответственно до 7% и до 6%
15	Предгорный рельеф, известняки, песчаники	1	Сейсмическая опасность до 10 баллов
16	Низкотеррасный рельеф, кристаллические породы, известняк, сейсмичность	8	Сейсмическая опасность до 8 баллов, подтопление до 60%
17	Низкотеррасный рельеф, кристаллические породы, известняк, сейсмичность	3	Сейсмическая опасность до 9 баллов, подтопление до 15%
18	Низкотеррасный рельеф, палеозойские кристаллические породы, известняк, гипс, карст	8	Подтопление до 25%
19	Плоские слабоденудированные равнины, озерно-аллювиальные и аллювиальные отложения, часто лессовидные, заболачивание	2	Подтопление до 50%, затопление до 10%
20	Волнисто-увалистые равнины, континентальные песчано-глинистые отложения, перекрытые лессом или лессовидными суглинками, овражная эрозия	3	Подтопление до 45%, затопление до 12%
21	Плоские слабоденудированные равнины, мезо-кайнозойские морские и континентальные песчано-глинистые отложения перекрыты четвертичными аллювиальными волно-ледниковыми и озерно-аллювиальными глинами, суглинками и песками, заболачивание, подтопление	3	Подтопление до 25%, оползневая опасность до 6%
22	Возвышенные эрозийные и плоские равнины, палеозойские и мезозойские породы, перекрываются лессовидными суглинками и аллювиальными песками и глинами, заболачивание	5	Подтопление до 40%

Таблица 2. Окончание

№	Краткая геолого-геоморфологическая характеристика физико-географических провинций*	Число городов выборки в физико-географической провинции	Основные опасные процессы и их максимальное возможное распространение в городах
23	Пологонаклонная равнина, четвертичные водно-ледниковые, аллювиальные и озерные отложения песчано-глинистого состава, засоление	1	Подтопление до 30%
24	Сочетание нагорных лавовых плато в сочетании со структурными террасами, диабазы, базальты, вулканические туфы	1	Подтопление до 80%
25	Волнистые равнины нижнепалеозойские терригенные и карбонатные породы в основном песчаники и сланцы	2	Сейсмическая опасность до 9 баллов, подтопление до 25%
26	Горный рельеф с межгорными котловинами, метаморфизованные сланцы мраморы, известняки, гипсы протерозоя	2	Сейсмическая опасность до 8 баллов, подтопление до 20%
27	Наклонные плато, густо прорезаны речными долинами нижнепалеозойские известняки, доломиты, гипсы, карст	1	Подтопление до 10%
28	Горный плосковершинный рельеф, граниты и метаморфизованные породы архея, протерозоя и нижнего палеозоя	2	Сейсмическая опасность до 8 баллов, подтопление до 23%, затопление до 14%
29	Равнинный рельеф, нижнепалеозойские породы перекрыты морскими и континентальными юрскими и меловыми песками, песчаниками глинами, выше залегают неогеновые и четвертичные аллювиальные отложения, мерзлота	1	Подтопление до 60%, затопление до 15%
30	Низкотерья в сочетании с увалистыми и низменными равнинами глинистые сланцы, песчаники, палеогеновые песчано-глинистые породы, перекрытые четвертичными аллювиальными и озерными отложениями	3	Подтопление до 25%, затопление до 20%, карстово-суффозионная опасность до 5%
31	Горный рельеф, мезозойские осадочные и вулканогенные породы и палеогеновые вулканогенные породы, эрозионное расчленение	2	Подтопление до 20%
32	Низкотерья вулканогенный (позднепалеостеновый) рельеф, верхнемезозойские и кайнозойские осадочные и эффузивные породы	1	Сейсмическая опасность до 9 баллов, подтопление до 30%
33	Низкотерья эрозионный, протерозойские сланцы, верхнепалеозойские сланцевые породы, терригенные породы верхнего мела, палеогена и неогена	1	Сейсмическая опасность до 8 баллов, подтопление до 5%

*Источник: Физическая география СССР: общий обзор. Европейская часть СССР. Кавказ / Ф.Н. Мильков, Н.А. Гвоздецкий. Изд. 4-е, испр. и доп. М.: Мысль, 1976. 448 с.; Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Азиатская часть. Учебник для студентов геогр. фак. ун-тов. М.: Мысль, 1978. 512 с.

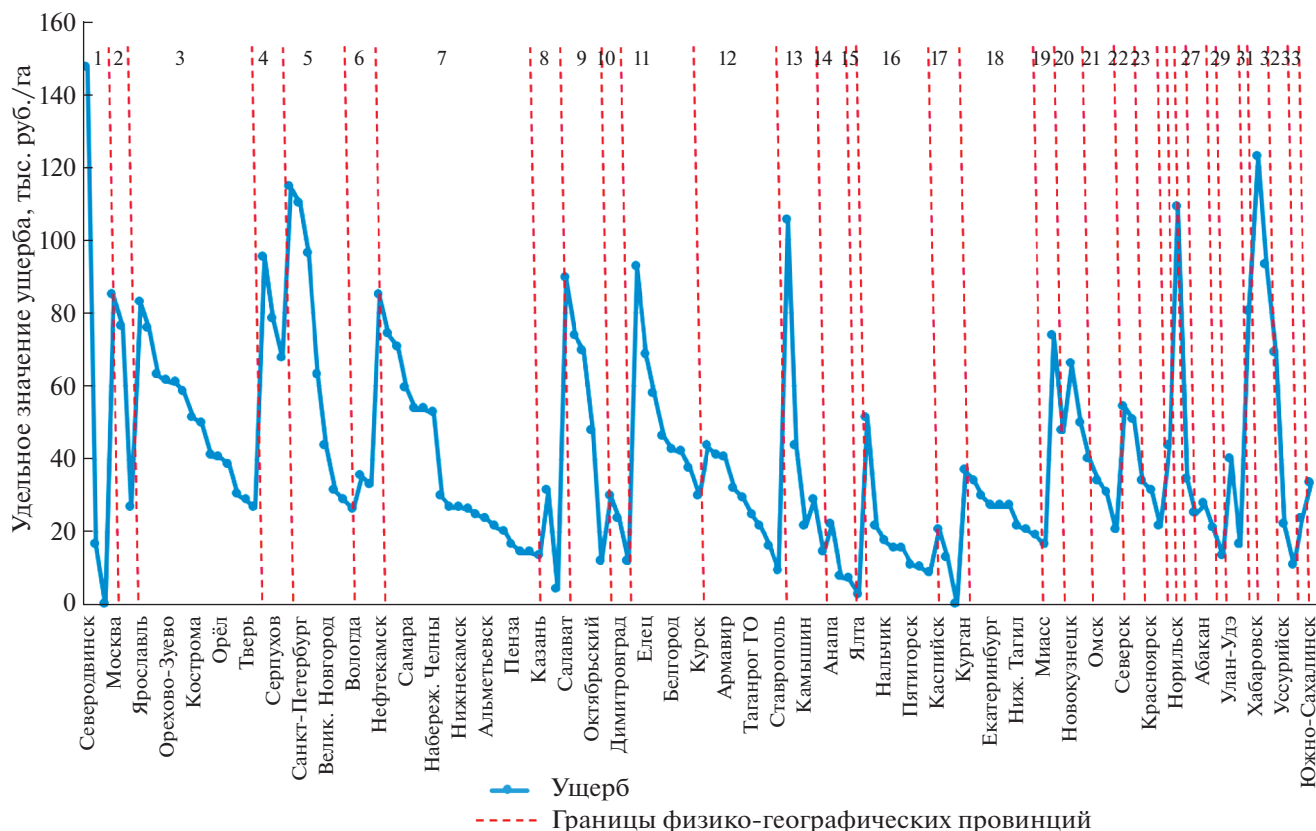


Рис. 1. Геоэкологический след в городах России (1-33 – порядковые номера физико-географических провинций, см. табл. 2).

него Востока, а также для г. Братска, расположенного на плато. Геологическая особенность большинства из этих городов – наличие горных пород, подверженных карстообразованию. Средняя площадь этих городов изменяется более чем в 30 раз, число населения в 6 раз, а удельные значения ущерба в 5 раз. Немаловажное значение имеет и приуроченность этих городов к определенным геолого-геоморфологическим условиям, от которых зависит развитие тех или иных экзогенных процессов.

В группу с высокими удельными значениями ущерба вошли 14 городов в северо-западной и центральной физико-географических провинциях Европейской части РФ и 5 городов в Сибири и на Дальнем Востоке. Они размещаются в пределах равнинных территорий, кроме приуроченных к низкогорьям дальневосточных городов. Их площади различаются в 20 раз, число населения в 30 раз, а ущерб в 1.3 раза. Такие различия свидетельствуют об огромной природно-экономической дифференциации российских городов. Высокие значения ущерба оказались в городах Башкортостана и в Оренбурге, где высок процент поражения городских территорий всеми рассматриваемыми процессами.

Большая геоэкологическая безопасность городов Северного Кавказа объясняется незначительностью в них подтопленных площадей.

Отсутствие прямой связи между количеством населения и значениями потенциального ущерба, как и между значениями суммарного и удельного ущерба, отражено в табл. 3.

С учетом уязвимости (ценности) реципиента на один город в среднем приходится 632 млн руб. потенциального ущерба в год. Попадание городов-миллионников во все градации свидетельствует об отсутствии прямой связи между полученными значениями ущерба от природных процессов и численностью населения. Также не установлена зависимость между удельными величинами ущерба и городскими площадями, несмотря на то, что расчеты базировались на распространности процессов, а удельная оценка относилась к общей площади города. Аналогичная картина наблюдается и для других групп городов (табл. 4).

Для городов, представленных в табл. 3, и в которых суммарная величина общего ущерба превысила 50 млн руб., характерно отсутствие или минимальное распространение подтопления, свойственное городам Южного и Северо-Кавказ-

Таблица 3. Расчетные величины ущербов, площадей и населения в городах выборки

Градации потенциального суммарного годового ущерба города, млн руб.	Потенциальный удельный ущерб, тыс. руб./га в год, max/min	Площадь города, тыс. га, max/min	Численность населения, тыс. чел., max/min	Число городов
>4000	110/85	144/110	12615/5384	2
4000-2000	123/43	86/38	1124/618	4
2000-1000	147/30	70/12	1267/107	18
1000-500	114/16	53/10	1618/127	26
500-250	95/13	47/6	1251/101	36
<250	109/< 1	102/2	1054/103	53
Средние значения по выборке городов	26.5	24	404	Всего 139

Таблица 4. Расчетные величины ущербов, площадей и населения в городах выборки с суммарным ущербом менее 100 млн руб.

Градации потенциального суммарного годового ущерба города, млн руб., max/min	Потенциальный удельный ущерб, тыс. руб./га в год, max/ min	Площадь города, тыс. га, max/ min	Численность населения, тыс. чел. max/ min	Число городов
100/70	30/8	18/5	433/103	7
71/40	27/11	10/3	303/104	5
41/10	10/7	8/5	273/108	4
<10	3/0	15/2	295/79*	3

*Примечание. Исключением является г. Ялта, постоянное население которого менее 100 тыс. чел, но с учетом постоянного притока отдыхающих оно увеличивается в 2.5 раза.

ского ФО. Самыми минимальными удельными значениями ущерба отличаются южные города Дербент и Ялта, а также Мурманск, в основном из-за отсутствия подтопления и ограниченного состава процессов (например, не учитывались криогенные процессы вследствие их крайне ограниченной распространенности). Попадание этого города в неопасную категорию объясняется распространением процессов вне застройки (за исключением сейсмоопасности). В городах 1 и 2 градации разброс сравниваемых значений незначителен, так что и в маленькой выборке не отмечается связи между этими показателями и величинами ущербов.

В итоге не удалось выявить связи между учитываемыми факторами во всей выборке городов. Парная корреляция 0.57 установлена между суммарными и удельными значениями ущерба, еще более низкие коэффициенты корреляции получены для пар показателей: удельные ущербы и площади городов, удельные ущербы и численность населения.

Величина экономического ущерба относится к категории экономической, и ее адекватная оценка необходима для: оценки общей экономической эффективности природоохранных меро-

приятий, отбора инвестиционных проектов природоохранного назначения, внедрения рыночных методов хозяйствования (например, экологического страхования и т.д.).

Полученная величина экономического ущерба, рассчитанная с учетом вероятности проявления события, по своей сути отражает возможный экономический риск, поскольку риск – вероятностная мера ущерба. В концепции оценки риска учитывается возможность совместного действия опасных природных процессов, при этом важны их весовые коэффициенты. Рассмотренные природные процессы представляют определенную опасность для городской территории, а, следовательно, и для человека, так как любая опасность – источник риска. Риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся возникновением поражающих факторов и нанесенного при этом социального, экономического, экологического и других видов ущерба. Таким образом, оценивая геоэкологический след через потенциальный экономический ущерб, сможем перейти к определению геоэкологического риска.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Предлагаемый подход к оценке ущерба от воздействия опасных природных процессов на сегодня оправдан по причинам:

– отсутствия общепринятых (утвержденных) природоохранных стоимостных нормативов и подходов к оценке экологического ущерба от опасных природных и природно-техногенных процессов;

– необходимости оценки экономического ущерба для:

- отбора инвестиционных проектов природоохранного назначения;

- оценки экономической эффективности мероприятий, когда затраты – средства, направляемые на природоохранные мероприятия (снижение геоэкологического следа), а результат – предотвращаемый экономический ущерб;

- внедрения рыночных методов хозяйствования (например, экологического страхования и т.д.);

- необходимости оценки обеспеченности геоэкологической безопасности городов за счет снижения геоэкологического следа, измеряемого величиной экономического ущерба, обеспечивающего сопоставимость получаемых результатов и выбор эффективных управленческих решений.

2. Предлагаемый подход к оценке последствий проявления опасных природных процессов позволяет сравнивать города по степени геоэкологической безопасности, что важно для управления городскими системами, инвестирования мероприятий по обеспечению безопасности городской среды. Полученные результаты подтверждают целесообразность рассмотрения показателя “геологический след” как индекса геоэкологической безопасности городов.

Большая дифференциация значений ущерба как по каждому городу выборки, так и по группам городов в пределах природных провинций подтверждает необходимость индивидуального рассмотрения городов.

3. Зависимость величин ущерба от количества городского населения и площади города не выявлена.

4. Определена необходимость разработки подхода к оценке ущерба в случаях совмещения нескольких опасных процессов на одном участке, а также при возможном возникновении цепной реакции взаимосвязанных событий.

5. Назрела потребность разработки единой общероссийской методики оценки эколого-экономического ущерба, включая геоэкологический след, ориентированной на решение практических задач, а также – создания соответствующей нормативной и статистической базы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / Под ред. С.К. Шойгу. М.: ИПЦ “Дизайн. Информация. Картография”. 2005. 62 с.
2. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В. Геоэкологическая безопасность урбанизированных территорий: подходы и пути реализации // Геоэкология. 2019. № 1. С. 17–23.
3. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В. Экологические оценки и геоэкологический след на урбанизированных территориях (зарубежный и отечественный опыт) // Геоэкология. 2020. № 4. С. 81–93.
4. Кабакова И., Короткова Е., Лемешко Н., Подколзин М.М. Совершенствование экономического механизма природопользования. Принцип “загрязнитель платит” // Актуальные проблемы науки, экономики и образования XXI века. 2012. С. 126–137. <http://bgscience.ru/lib/10864>
5. Медведев П.В., Медведева О.Е. Экономическая безопасность и современные мировые тенденции в сфере оценки и возмещения экологического ущерба // Интернет-журнал “НАУКОВЕДЕНИЕ”. 2015. Т. 7. № 5. <http://naukovedenie.ru/PDF/191EVN515.pdf> (2.3.9).
6. Медведева О.Е., Медведев П.В. Современная методология оценки экологического ущерба для целей оценки общественной эффективности инфраструктурных проектов // Руководство по изучению городской среды. Экологические и социально-психологические аспекты / Науч. ред. Д.Н. Кавтарадзе. М., 2015. [Электронный ресурс] – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-5-9904587-7-2. (2.3.11.)
7. Осипов В.И., Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Основы оценки уязвимости территорий для опасных природных процессов, методические подходы // Геоэкология. 2015. № 3. С. 195–203.
8. Рагозин А.Л. Ранжирование опасных природных и техно-природных процессов по социально-экономическому ущербу // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. М.: ВИНТИ, 1992. Вып. 2. С. 50–61.
9. Рюмина Е.В. Показатель ущерба как экономический инструмент сохранения окружающей среды // Труды VII Всерос. конф. “Теория и практика экологического страхования: устойчивое развитие”. М.: ИПР РАН, 2007. С. 110–124.
10. Фаддеев А.О. Геоэкологический риск на заселенных и промышленных территориях // Двойные технологии. 2009. № 1 (46). С. 22–30. <http://pstmprint.ru/wp-content/uploads/2016/03/dt-1-2009-3.pdf>
11. Черепанов К.А. Влияние экологических свойств городских территорий на формирование городской среды // Технические науки в России и за рубежом: матер. IV Междунар. науч. конф. (г. Москва, январь 2015 г.). М.: Буки-Веди, 2015. С. 99–105. <https://moluch.ru/conf/tech/archive/124/6920/> (2.3.13).

GEOECOLOGICAL FOOTPRINT IN RUSSIAN CITIES: APPROACHES, ASSESSMENTS, AND RESULTS

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

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

[#] *E-mail: yasenevo312@mail.ru*

Geoecological footprint is a necessary component in assessing the degree of ecological safety of urban space. An approach to its assessment is proposed, which is determined by the amount of economic damage when hazardous geoenvironmental processes occur. Its testing in Russian cities with a population of more than 100 thousand people for the five most common hazardous natural processes has shown the comparability of the results obtained. The influence of natural and social features of cities on the size of the ecological footprint is confirmed. No dependence has been established between the damage in cities and urban area and population. The potential possibility of considering the geoecological footprint as an index of geoecological safety of cities is stated.

Keywords: *geoecological footprint, geoecological safety, comparative analysis*

REFERENCES

1. *Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychaynykh situatsii v Rossiiskoi Federatsii* [Atlas of natural and technogenic hazards and risks of emergency situations in the Russian Federation]. Shoigu, S.K., Ed., Moscow, Dizain, infomatsiya, kartografiya Publ., 2005, 62 p. (in Russian)
2. Zaikanov, V.G., Minakova, T.B., Buldakova, E.V. *Geoekologicheskaya bezopasnost' urbanizirovannykh territorii: podkhody i puti realizatsii* [Geoenviromental safety of the urbanized territories: approaches and implementation]. *Geoekologiya*, 2019, no. 1, pp. 17–23. (in Russian)
3. Zaikanov, V.G., Minakova, T.B., Buldakova, E.V. *Ekologicheskie otsenki i geoekologicheskii sled na urbanizirovannykh territoriyakh (zarubezhnyi i otechestvennyi opyt)* [Environmental assessments and geoecological footprint in urbanized territories (foreign and domestic experience)]. *Geoekologiya*, 2020, no. 4, pp. 81–93. (in Russian)
4. Kabakova, I., Korotkova, E., Lemeshko, N., Podkolzin, M.M. *Sovershenstvovanie ekonomicheskogo mekhanizma prirodopol'zovaniya. Printsip "zagryaznitel' platit"* [Improving the economic mechanism of environmental management. The principle "polluter pays"]. *Aktual'nye problemy nauki, ekonomiki i obrazovaniya XXI veka*. [Actual problems of science, economics and education of the XXI century]. 2012, pp. 126–137. Available at: <http://bgscience.ru/lib/10864>. (in Russian)
5. Medvedev, P.V., Medvedeva, O.E. *Ekonomicheskaya bezopasnost' i sovremennye mirovyie tendentsii v sfere otsenki vozmeshcheniya ekologicheskogo ushcherba* [Economic security and modern world trends in the assessment of and compensation for environmental damage]. *Naukovedenie* (internet journal). 2015, vol. 7, no. 5. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/191EVN515.pdf>. (in Russian)
6. Medvedeva, O.E., Medvedev, P.V. *Sovremennaya metodologiya otsenki ekologicheskogo ushcherba dlya tselei otsenki obshchestvennoi effektivnosti infrastrukturykh projektov* [Modern methodology for assessing environmental damage for the purpose of evaluating the public effectiveness of infrastructure projects]. *Rukovodstvo po izucheniyu gorodskoi sredy. Ekologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie aspekty*. [Guide in urban environment study. Ecological and socio-psychological aspects]. Kavtaradze, D.N., Ed., Moscow, 2015. CD-ROM, ISBN 978-5-9904587-7-2. (in Russian)
7. Osipov, V.I., Burova, V.N., Zaikanov, V.G., Minakova, T.B. *Osnovy otsenki uyazvimosti territorii dlya opasnykh prirodnykh protsessov, metodicheskie podkhody* [Bases of vulnerability assessment of territories for hazardous natural processes, methodological approach]. *Geoekologiya*, 2015, no. 3, pp. 195–203. (in Russian)
8. Ragozin, A.L. *Ranzhirovanie opasnykh prirodnykh i tekhnoprirodnykh protsessov po sotsial'no-ekonomicheskomu ushcherbu* [Ranking dangerous natural and technological processes by socio-economic damage]. *Problems of safety in emergency situations*. Moscow, VINITI Publ., 1992, vol. 2, pp. 50–61. (in Russian)
9. Ryumina, E.V. *Pokazatel' ushcherba kak ekonomicheskii instrument sokhraneniya okruzhayushchei sredy* [Index of damage as an economic tool for preserving the environment]. Proc. the VII All-Russian conference "Theory and practice of environmental insurance: sustainable development". Moscow, IPR RAS. 2007, pp. 110–124. (in Russian)
10. Faddeev, A.O. *Geoekologicheskii risk na zaselennykh i promyshlennykh territoriyakh* [Geoecological risk on the populated and industrial areas]. *Dvoinye tekhnologii*. 2009, no. 1 (46), pp. 22–30. Available at: <http://pstmprint.ru/wp-content/uploads/2016/03/dt-1-2009-3.pdf>. (in Russian)
11. Cherepanov, K.A. *Vliyanie ekologicheskikh svoystv gorodskikh territorii na formirovanie gorodskoi sredy* [Influence of ecological properties of urban territories on the formation of the urban environment]. *Technical Sciences in Russia and abroad*. Proc. IV intern. sci. conf. (Moscow, January 2015). Moscow, Buki-Vedi Publ., 2015, pp. 99–105. Available at: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/124/6920/>. (in Russian)