

УДК 504.03.711

## ОЦЕНКА ЭКЗОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ (ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА)

© 2017 г. В. И. Осипов, О. Н. Еремина, И. В. Козлякова

*Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, стр. 2,  
Москва, 101000, Россия. E-mail: sci-council@geoenv.ru*

Поступила в редакцию 17.11.2016 г.

В статье рассмотрен зарубежный опыт оценки опасных экзогенных геологических процессов и обусловленного ими риска экономических потерь на городских территориях. Прослежено становление и развитие научного направления, получившего за рубежом название “урбанистическая геология”. На основе анализа большого количества зарубежных публикаций последних десятилетий, в том числе материалов конференций и конгрессов Международной ассоциации по инженерной геологии и окружающей среде (МАИГ), дан обзор основных направлений исследований в области инженерной геологии городов и методик учета и оценки геологических опасностей при планировании городской среды. Показано современное состояние разработки проблемы анализа геологического риска в городах на основе оценки уязвимости городской среды к геологическим опасностям.

**Ключевые слова:** *экзогенные геологические опасности, геологический риск, инженерно-геологические исследования в городах, урбанизация, инженерно-геологическое картографирование, городское пространственное планирование.*

### ВВЕДЕНИЕ

Начавшийся в конце XIX в. процесс урбанизации приобрел колоссальный размах к началу XXI в. В 1900 г. на земном шаре насчитывалось всего 12 городов с населением свыше 1 млн человек: Лондон, Париж, Берлин, Вена, Санкт-Петербург, Стамбул, Нью-Йорк, Чикаго, Филадельфия, Токио, Пекин и Осака [3, 40]. В настоящее время число городов-миллионеров составляет 360, а мегаполисов с населением более 10 млн человек – 35. По прогнозам к 2030 г. число таких мегаполисов увеличится до 60 [29]. Как отмечает известный голландский геолог-урбанист Э. де Мульдер (*De Mulder E.F.J.*), за последние 25 лет рост городов стал особенно стремительным [20]. Так, например, за этот период взрывной рост по площади был характерен для таких городов, как Париж, Пекин, Сидней, Лас-Вегас. Последний, увеличив свою площадь более чем в 100 раз с 1973 г., признан самым быстрорастущим городом США.

Согласно официальной статистике, в первом десятилетии XXI в. число городских жителей достигло 3.4 млрд человек, что впервые в мировой истории превысило половину населения земного шара. Сейчас городское население составляет 75% в Европе,

74% в Северной Америке и 48% в Азии [20]. По прогнозам ООН, к середине XXI в. население планеты достигнет 9.2 млрд и затем стабилизируется на этом уровне примерно до 2300 г., при этом весь ожидаемый прирост населения (2 млрд чел.) произойдет за счет городского населения. По некоторым данным, стабилизация населения ожидается на уровне 12 млрд чел. В ближайшие десятилетия прогнозируется дальнейший стремительный рост городского населения, которое удвоится к 2050 г. и достигнет 5 млрд, что составит 66% населения Земли [43]. Необходимо отметить, что азиатский регион, где проживает 60% населения планеты, лидирует по темпам урбанизации. Уже сейчас 6 из 10 крупнейших мегаполисов мира находятся в Азии. Стремительный рост городского населения (со скоростью 2% в год) характерен для развивающихся стран Азии и Африки и фиксируется, например, в таких городах, как Лагос (Нигерия), Дакка (Бангладеш) и Карачи (Пакистан) [59]. В то же время исследователи отмечают наметившийся в последние годы обратный процесс субдеурбанизации и сокращения размеров городов в связи с их деиндустриализацией в густонаселенной Европе и США [45, 59].

Очевидно, что урбанизация влияет на окружающую среду и, наоборот, окружающая среда влияет

на уязвимую к ней городскую среду. Для своего жизнеобеспечения и развития городу необходима подходящая для освоения территория, стройматериалы, источники воды и энергии. При этом город, производя большое количество отходов, загрязняет окружающую среду. Наибольшее воздействие на окружающую среду оказывают мегаполисы, которые, в свою очередь, оказываются подверженными воздействию опасных геологических процессов [55]. Таким образом, города являются как источником, так и реципиентом риска. Как отмечает Б. Маркер (*Marker B. R.*), опасные процессы, не представляющие большой угрозы на неосвоенных территориях, могут представлять большую проблему в уязвимых густонаселенных городских районах и обуславливать высокий риск для проживания [43]. Исследованиями европейских ученых показано, что из всех городов Европы самыми небезопасными в геологическом отношении являются города, расположенные на средиземноморском побережье, в наименьшей степени – города Швеции [18–20].

#### УРБАНИСТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ КАК ОСОБОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ

На геологические проблемы городов ученые обратили внимание лишь во второй половине XX в. В 1960-х гг. за рубежом зародилась и оформилась в самостоятельную научную дисциплину так называемая “урбанистическая геология”. Этот термин был впервые использован в циркуляре Геологической службы США Дж. Т. МакГиллом (*McGill J.T.*) [46]. Известные английские инженер-геологи М. Калшоу и С. Прайс (*Culshaw M. G., Price S. J.*) называют “отцом урбанистической геологии” Р. Леггета (*Legget R.F.*) за его фундаментальный труд “Города и геология” [16]. Эта книга, впервые опубликованная в США в 1973 г., была переведена на русский язык в 1976 г. [3, 40]. Именно этот ученый впервые обратил внимание на то, что роль геологических наук недооценена при планировании городского развития. По его мнению, пренебрежительное отношение к геологическим процессам и условиям во многих случаях приводит к серьезным негативным последствиям в городах. В своей книге “Города и геология” Р. Леггет пишет: «*При планировании города или района площадь, намеченную к застройке, нельзя уподоблять чистому листу бумаги, на котором возможна материализация любых идей строителя... Планирование и строительство новых городов немислимы без учета основных особенностей органического мира и динамики природы. Только при этих условиях человеческая деятельность*

*будет гармонично вписываться в окружающую среду и не нарушит ее биологическое равновесие. ...Как прозорливо сказал Фрэнсис Бэкон почти четыре столетия назад: “Чтобы управлять природой, надо ей подчиняться”» [3].*

Урбанистическая геология сформировалась в отдельную отрасль геологического знания благодаря трудам таких ученых как С. Прайс, У. Дирман (*Dearman W.R.*), Б. Маркер, М. Калшоу (Великобритания); Э. де Мульдер (Нидерланды), О. Уайт (Канада) и др. [8, 16, 19, 20, 22, 35, 43, 44, 58, 59]. Ими отмечено, что урбанистическую геологию (*urban geology*) следует отличать от геологии городов (*geology of urban areas*), прежде всего, по предмету исследования. Так, уже первые работы в области урбанистической геологии касались не только изучения геологического строения урбанизированных территорий, но и возникающих там природных и техноприродных опасностей. В 1862 г. австрийский ученый Э. Зюсс (*Suess E.*) опубликовал труд “Грунты г. Вены”, в котором впервые дал комплексную характеристику всей городской геологической среды, описав геологическое строение территории, гидрогеологические условия, состав грунтов, в том числе техногенных отложений, используемые стройматериалы, выделив социально-экологические аспекты, в частности здоровье населения. В 1897 г. сотрудник Британской геологической службы Х. Вудворт (*Woodwart H.*) построил карту грунтовых толщ большого Лондона, на которой были учтены не только геологическое строение, но и гидрогеологические и геологические особенности территории (например, расположение кладбищ согласно санитарно-гигиеническим нормам), а также представлены сведения о грунтовых основаниях зданий и сооружений, водоснабжении и дренажных системах. Этот труд предназначался не только для геологов, но и для других категорий потребителей [16]. К. Клайтон (*Clayton C.R.I.*) [13, 14] отмечал, что в настоящее время потребителями картографической информации в урбанистической геологии выступают не только геологи, но и проектировщики, финансисты, страховщики и прочие категории специалистов разных областей, а также и неспециалисты – обычные городские жители. М. Калшоу [16] предложил такое определение **предмета изучения урбанистической геологии**: *взаимосвязи между человеком и геологической средой в пределах урбанизированных территорий и возникающие в результате этих взаимосвязей техноприродные процессы с целью предоставления необходимой геологической информации для обеспечения устойчивого и сбалансированного развития, рационального использования и охраны природной среды городов.* По мнению

Э. де Мульдера, урбанистическая геология охватывает изучение всего комплекса геоэкологических и социально-экономических проблем, возникающих при планировании градостроительной деятельности и освоении подземного пространства городов [19, 20].

Развитие урбанистической геологии шло в направлении совершенствования методов оценки и технологий картирования инженерно-геологических и геоэкологических условий городов, от построения монотематических карт до комплектов специализированных карт, основанных на ГИСах и современных компьютерных методах обработки баз цифровых данных. В предисловии к 5-му тому Трудов 12-го конгресса Международной ассоциации по инженерной геологии и окружающей среде (МАИГ) Дж. Лоллино (*Lollino G.*) пишет, что в фокусе внимания современной урбанистической геологии в настоящее время находится развитие дистанционных методов изучения и мониторинга, совершенствование методов сбора данных, картографирования и моделирования городской среды, оценка геологических опасностей и рисков для целей рационального городского планирования и использования подземного пространства городов [41].

При этом в настоящее время, согласно британским стандартам, к городам (*urban areas*) относятся населенные пункты с населением свыше 10 000 человек, в то время как в США – населенные пункты с населением свыше 2500 человек [56].

Следует упомянуть, что в России урбанистическая геология не выделена в самостоятельную отрасль научного геологического знания, хотя существуют такие понятия, как “урбанистическая система”, “урбанистическая география”, “урбанистическая экология” и т.д. Проблемы, разрабатываемые за рубежом геологами-урбанистами, в нашей стране решают инженер-геологи и геоэкологи, а предмет исследования западной “урбанистической геологии” во многом совпадает с предметом отечественных инженерно-геологических и геоэкологических исследований в городах.

### ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНОСТИ В ГОРОДАХ И МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ

Практически все крупные города мира подвержены воздействию опасных природных процессов, которые наносят большой ущерб экономике, а в случае их катастрофического развития приводят и к человеческим жертвам. Согласно официальной статистике, за период 1977–2008 гг. в Международной базе природных катастроф [25] зафиксировано

8866 природных катастроф, которые унесли 2.3 млн человеческих жизней и нанесли экономический ущерб на сумму 1.530 млрд долларов США. В 2008 г. более 140 000 человек погибло в Мьянме от тропического циклона Нургиз; Венчуанское землетрясение 2008 г. в Китае привело к гибели более 200 000 человек, разрушению 5 млн и повреждению 21 млн зданий [33]. Значительное число жертв и большой экономический ущерб от природных опасностей на урбанизованных территориях в большей степени являются результатом высокой плотности городского населения и инфраструктуры. Между тем во многих случаях негативных последствий катастроф, источник которых – опасные геологические процессы, можно было бы избежать, если бы геологическая информация адекватно и своевременно учитывалась городскими властями.

Еще в 1960-х гг. Р. Леггет с сожалением отмечал, что недооценка геологических условий городов является причиной многих серьезных проблем на городских территориях; во многих случаях с геологией вынуждены считаться только тогда, когда в результате пренебрежительного отношения к геологическим условиям местности происходит несчастье [3].

Надо признать, что проблемы, поднятые Р. Леггетом почти полвека назад, продолжают оставаться актуальными и сейчас, о чем свидетельствует неослабевающее внимание к ним со стороны специалистов. Так, 10-й конгресс МАИГ, состоявшийся в г. Ноттингем (Великобритания) в 2006 г., а также вторая Европейская конференция МАИГ (Мадрид, Испания, 2008 г.) были целиком посвящены обсуждению инженерно-геологических и геоэкологических проблем, возникающих в связи с ростом городов. Работы по урбанистической геологии и планированию устойчивого развития городов составили отдельный том трудов 12-го конгресса МАИГ (Турин, Италия, 2014 г.), который проходил под девизом “Инженерная геология для общества и территорий”. Много докладов по этой проблематике было представлено на 34-м и 35-м Международных геологических конгрессах (Брисбен, Австралия, 2012 г.; Кейптаун, ЮАР 2016 г.). Специальная секция по урбанистической геологии работала в рамках Европейского конгресса по региональному и научному картографированию и информационным системам, состоявшегося в Болонье (Италия) в 2012 г. Тем не менее значение геологической информации по-прежнему недооценивается городскими властями и проектировщиками, она недостаточно используется как при планировании развития городов, так и для предупреждения геологических опасностей.

Природные опасности геологической природы, проявляющиеся на урбанизированных территориях, которые чаще всего оказываются в центре внимания инженер-геологов, включают землетрясения, береговую абразию и эрозию, оползни и обвалы, провалы и оседания поверхности карсто-суффозионной и техногенной природы, а также подтопление. Не претендуя на полноту изложения, в данном обзоре остановимся лишь на некоторых опасных геологических процессах, наиболее часто встречающихся на городских территориях платформенных областей.

**Оползни и склоновые процессы.** Оползневой опасности подвержены многие мегаполисы мира. Согласно статистике ООН, оползни стоят на 7-м месте в списке главных “природных убийц” после смерчей, наводнений, засухи, землетрясений, вулканических извержений и экстремальных температур. Оползневые процессы представляют собой значимую угрозу ряду крупных городов США и Канады, например, Лос-Анжелесу (США), Эдмонтону (провинция Альберта, Канада) и др. [40]. Как свидетельствует статистика за последние 20 лет, от оползней ежегодно погибает 800–1000 человек [56]. В последние годы в зарубежной литературе утвердился термин “urban landslides” (буквально: “городские оползни”) [9, 56]. Под это определение попадают склоновые процессы, развивающиеся на территориях с населением свыше либо 2500 человек (по стандартам США), либо 10 000 человек (по стандартам Великобритании). Проблема оценки оползневой опасности и риска особенно актуальна для густонаселенных мегаполисов в сейсмически активных областях, где активизация склоновых процессов зачастую сопряжена с сейсмическим воздействием. Учеными накоплен большой опыт оценки оползневой опасности в сейсмически активных регионах. Изучением опасных склоновых процессов, триггером которых являются сейсмические события, активно занимаются инженер-геологи Италии, территория которой нередко подвержена частым разрушительным землетрясениям [50]. Согласно мировой статистике, Азиатский регион, на территории которого располагается тектонически активный Гималайский пояс, наиболее подвержен катастрофическим оползневым явлениям. Так, в университете г. Дарем (Великобритания) создана мировая база данных оползней, повлекших человеческие жертвы [57]. По данным на 2010 г., в этой базе данных зафиксировано 2836 катастрофических склоновых процессов, повлекших 78354 жертвы. В Гималаях фиксируется в среднем 67 оползневых событий в год. Больше всего жертв повлекли за собой оползни, вызванные землетрясением 2005 г. в штате Кашмир (Пакистан) — 26 400 че-

ловек, и Венчуанским землетрясением 2008 г. в Китае — 20 000 погибших [57].

Как показывает анализ трудов международных инженерно-геологических форумов последних десятилетий, изучение склоновых процессов и оценка оползневой опасности в городах находится в фокусе внимания ученых всего мира. Так, на 10-м Международном конгрессе МАИГ (2006 г.), проходившем под девизом “Инженерная геология для городов будущего”, одна из его секций была посвящена оползням на городских территориях. На 12-м Международном конгрессе МАИГ (2014 г.) более 70% всех докладов по инженерно-геодинамической тематике или более 40% от общего количества докладов, представленных на конгрессе, были посвящены изучению оползневых и других склоновых процессов [1]. Из анализа материалов конгресса, проведенного О. В. Зеркалем следует, что большее внимание уделяется картированию оползневых и других склоновых процессов. При этом из этих работ вопросам оценки и составления карт опасности посвящено около 30% докладов, на так называемое инвентаризационное картирование предрасположенности территорий к развитию оползней ориентировано около 26% докладов, а оценка риска развития оползневых и других склоновых процессов и составление карт риска представлены в 24% докладов, затрагивающих вопросы картирования. При этом автор обзора отмечает сравнительно небольшое количество работ, рассматривающих вопросы оценки уязвимости к оползневой опасности.

Методология оценки опасности и риска оползневых процессов как сейсмической, так и несейсмической природы разработана достаточно хорошо. Ученые из Индии, Чили, Бразилии, Китая [12, 26, 54, 67] предлагают методики зонирования городских территорий и построения карт оползневой опасности с помощью ГИС-технологий на основе учета разных факторов (геологических, климатических, геоморфологических, тектонических и т.д.). Методика количественной оценки оползневой опасности и риска, основанная на эвристическом и статистическом моделировании, а также на оценке социально-экономической уязвимости к этому виду опасности, разрабатывается консорциумом ученых из 13 стран ЕС в рамках европейской программы изучения оползневой опасности ([www.safeland-fr7.eu/](http://www.safeland-fr7.eu/)). Результатам этих работ был посвящен специальный тематический выпуск Бюллетеня МАИГ в 2014 г. [10, 15, 24, 32].

**Провалы и оседания земной поверхности.** На территориях многих мегаполисов мира формируются провалы грунтов и оседания поверхности вследствие разных природных и техногенных причин.

Эти процессы могут быть связаны с образованием полостей в грунтовых толщах в результате растворения карстующихся пород (карбонатный, соляной, гипсовый карст), просадок лёссовых грунтов, суффозионного выноса дисперсного материала, техногенных горных выработок, откачек подземных вод.

Помимо природных процессов опускание поверхности в городах, приводящее к значительному экономическому ущербу и человеческим жертвам, может быть вызвано или интенсифицировано техногенными причинами. Так, например, в Йоханнесбурге (ЮАР) катастрофические карстовые провалы в 1960-х гг. были вызваны техногенным понижением уровня грунтовых вод в связи с разработкой золоторудных месторождений. Там в декабре 1962 г. внезапно возник крупный провал под заводом, который находился вблизи ствола одной из шахт, при этом погибло 29 человек [3]. Известны многочисленные примеры осадков поверхности грунта в городах в связи с понижением уровня грунтовых вод (УГВ). Например, в Японии, на острове Хонсю, значительная осадка грунтов была вызвана откачкой подземных вод в трех крупнейших городах страны – Токио, Нагое и Осаке. Любопытно, что этот процесс практически прекратился во время Второй мировой войны, когда откачка вод велась в существенно меньших масштабах. Техногенное понижение УГВ в связи с откачками грунтовых вод, приведшее к оседанию поверхности, фиксировалось в разные годы в таких городах, как Мехико, Нью-Йорк, Лос-Анжелес, Венеция, Йоханнесбург [3]. Осадки и просадки грунтов, вызванные деятельностью человека, и сейчас наблюдаются во многих городах мира, в том числе в Бангкоке, Венеции, Джакарте, Амстердаме, Лондоне. В прибрежных городах опускание поверхности усиливает опасность наводнений. Добыча нефти и газа в море в районе Саравак (Восточная Малайзия) вызвала опускание поверхности побережья и интенсивную береговую эрозию [20].

На классическом примере Венеции Э. де Мульдер показывает как техногенно обусловленные просадки и оседание поверхности можно регулировать, правильно используя геологические знания [20]. Причинами катастрофических процессов, угрожавших этому историческому городу, служили подъем уровня моря (15 см за 100 лет) и непрерывно прогрессирующее опускание дна лагуны, связанное с водозабором из более чем 7000 скважин в окрестностях города. Если за период с 1909 по 1925 г. скорость погружения поверхности составляла 1 мм в год, то в 1953–1961 гг. эта величина достигла уже 5 мм в год. В 1971 г. правительством Италии был утвержден проект по спасению Венеции

путем контроля водозабора. В скором времени после прекращения откачек замедлилось оседание поверхности [3]. Аналогичная ситуация наблюдалась в Шанхае и Мехико. В настоящее время технология измерений радаром InSAR позволяет фиксировать изменение уровня поверхности с очень высокой точностью.

Нередко опускание поверхности в городах, приводящее к негативным последствиям, связано с добычей полезных ископаемых. В качестве исторического примера можно привести г. Кутна-Гора (Чехия), который описывает Р. Леггет в своей книге. В этом древнем городе, расположенном в восточной Богемии в 65 км восточнее Праги, с XIV в. разрабатывались серебряные копи. Добыча серебра прекратилась в XVI в., но наличие старых горных выработок, протяженность и расположение которых невозможно было оценить даже приблизительно, способствовало оседанию поверхности во многих частях города. Стоит упомянуть, что инженерно-геологические проблемы Кутна Горы решались под руководством известного чехословацкого ученого, президента МАИГ (1968–1972 гг.) К. Заруба. К 1949 г. в городе было пробурено 500 скважин, а к 1970 г. составлены подробные инженерно-геологические карты условий строительства в Кутна-Горе [3].

Яркий современный пример проявления этой геологической опасности представляет собой г. Ноттингем (Великобритания), современные инженерно-геологические условия которого во многом определила добыча в прошлом угля, нефти и строительных материалов. Наличие многочисленных заброшенных горных выработок в растворимых гипсах породило целый комплекс геозекологических проблем, таких как слабая несущая способность грунтов оснований, оседание поверхности и провалы грунта над горными выработками в районах сульфатного карста, загрязнение грунтов и подземных вод, склоновые процессы и др. [6]. В Европе с провалами и оседанием поверхности, связанными с наличием карстующихся грунтов, сталкиваются такие города, как Афины (Греция), Копенгаген (Дания), Лион (Франция), Одесса (Украина), а также ряд городов в Бельгии, Венгрии [6, 28, 34, 37, 69, 71] и многие другие. В других частях света эта проблема актуальна для многих городов Китая, Турции (Анталья), Малайзии (Куала-Лумпур), Бразилии, ЮАР [21, 63, 68, 73]. Только лишь в Китае карстовые области занимают 3 650 000 км<sup>2</sup>, из них 600 000 км<sup>2</sup> имеют высокий риск образования карстовых провалов [52].

Карстовая опасность изучается инженер-геологами уже давно как в нашей стране, так и за

рубежом. Методам оценки карстовой и карстово-суффозионной опасности традиционно посвящаются специальные секции на международных инженерно-геологических форумах и собираются отдельные тематические конференции и симпозиумы. Так, например, в г. Пермь (Россия) были проведены Всероссийская научно-практическая конференция “Проблемы инженерной геологии карста урбанизированных территорий и водохранилищ” (2008 г.) и Международный симпозиум “Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах” (2015 г.). Более 30 докладов было представлено на секции “Инженерные проблемы карста” 12-го конгресса МАИГ в г. Турине (2014 г.).

Во всем мире к приоритетным методам оценки карстовой опасности относится специальное инженерно-геологическое картографирование. Так, например, в Китае в 2012–2015 гг. осуществлялся масштабный проект по составлению 60 карт карстовой опасности м-ба 1:50000 на территорию площадью 30000 км<sup>2</sup>. Запланировано, что в 2016–2020 гг. на дополнительную территорию площадью 40000 км<sup>2</sup> будет составлено еще 80 карт карстовой опасности [52].

Еще один опасный геологический процесс, проявляющийся в ряде городов мира — *подъем уровня грунтовых вод и подтопление*. Как отмечается многими исследователями, подъем УГВ в городах часто может быть сопряжен с восстановлением зеркала подземных вод после прекращения или сокращения водозаборов или искусственных закачек [44]. С проблемой изменения УГВ в середине XX в. столкнулся Нью-Йорк [39, 40]. Подъем УГВ и подтопление угрожает многим городам Нидерландов, большая часть территории которых лежит ниже уровня моря. Так, в Роттердаме, например, УГВ находится на глубине менее 2 м. При этом необходимо отметить, что европейские города редко испытывают подъем УГВ вследствие техногенных причин (утечки из коммуникаций).

Проявление различных геологических опасностей в городах часто взаимно увязано и взаимно обусловлено. Сейсмические события, как правило, служат триггером целого комплекса опасных природных явлений (разжижение грунтов, оползни, цунами и др.). Оседание земной поверхности часто сопряжено с подъемом УГВ и подтоплением городских территорий, которое, в свою очередь, способно

индуцировать склоновые процессы. Очевидно, что геологические опасности на территории городов с целью оценки рисков и планирования городского развития необходимо изучать в комплексе.

### КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ГОРОДСКОМ ПРОСТРАНСТВЕННОМ ПЛАНИРОВАНИИ

В настоящее время общепризнана необходимость комплексного учета природных опасностей при среднесрочном и долгосрочном городском планировании.

По свидетельству М. Калшоу, осознание роли геологических наук в планировании градостроения и понимание необходимости создания политематических геологических карт, которые удовлетворяли бы потребностям многих специалистов, а не только инженеров-строителей, пришло к началу 1970-х гг. [16]. В 1969 г. И. Макхарг (*McHarg I.*), возглавлявший кафедру пейзажной архитектуры и регионального планирования Пенсильванского университета, опубликовал книгу под названием “Проектируйте вместе с природой”, в которой нашли отражение новые на тот момент тенденции в городском планировании. Автор выделяет две группы факторов, определяющих рациональное планирование: геоморфологические препятствия и социально-экономические ценности. Первая включает рельеф, дренаж, коренные породы и грунты, вторая — исторические достопримечательности, растительный и животный мир, жилой фонд. Однако, он отмечает, что “...основным критерием для освоения любой территории является экономика, и если какое-либо использование земли вызывается экономическими интересами общества, оно осуществляется, невзирая на физические особенности территории. Если же отсутствует экономическая необходимость, то самые удобные для освоения земли планеты не вызовут желания их использовать” [47].

С 1980-х гг. в Великобритании началось выполнение проектов по составлению комплектов тематических специализированных геологических карт для планирования градостроительства на урбанизированных территориях для различных районов Англии, Шотландии и Уэльса. Комплекты карт включали карты фактического материала, интерпретационные карты и суммирующие карты, показывающие основные геологические опасности для целей городского планирования. Уже первый выполненный проект, охватывавший площадь в 100 км<sup>2</sup> в Шотландии, включал 18 базовых

карт, 4 интерпретационные карты и 5 суммирующих (синтетических) карт [16]. По данным Дж. Риз, А. Гиббсона и др. к 2009 г. Британской геологической службой была построена цифровая геологическая карта Великобритании в масштабе 1 : 50 000 [62]. Выделено 14500 типов грунтов, которые систематизированы и закодированы по ряду параметров, включая прочность, пластичность, проницаемость и предрасположенность к подвижкам. К этой карте привязана британская национальная оползневая база данных, национальная карстовая база данных и национальная геотехническая база данных. Британской геологической службой велись работы по составлению цифровой карты мира в масштабе 1 : 1 000 000 [62]. В 1990-х годах такие исследования для оценки грунтовых условий выполнялись уже на основе ГИС и в цифровой форме. Геоинформационные технологии для изучения инженерно-геологических условий городов активно применяются с 1990-х годов и в Нидерландах, где в Национальном институте прикладных геологических исследований (ТНО) была создана оцифрованная база данных на всю территорию страны. Начатая в цифровой форме в 1994 г., уже в 1996 г. эта база данных включала результаты опробования по 400 000 буровых скважин с плотностью покрытия по стране в среднем 10 точек на км<sup>2</sup>. На основе этой постоянно пополняемой базы данных возможно построение тематических карт, показывающих глубины заложения фундаментов и их стоимости, потенциальную осадку, состав и строение грунтовых толщ, гидрогеологические условия, потенциальные пути распространения загрязнения и др. В настоящее время в ГИС Нидерландов также включаются не только геологические и геофизические данные, но и геотехнические параметры, гидрогеологические и геохимические свойства, а также археологические данные. К началу XXI в. ГИС-метод многофакторного анализа инженерно-геологических данных для оптимизации планирования градостроительного освоения территорий с успехом применялся в Великобритании, Греции, Нидерландах, Австралии, Франции, Канаде и многих других странах мира [16, 17, 35].

В настоящее время за рубежом общепризнано, что наиболее эффективным экономическим инструментом для обеспечения устойчивого развития городов и управления рисками является **территориальное планирование, согласованное с картами природных опасностей**, где указаны запреты или ограничения к освоению территорий того или иного назначения.

Важно, что в последние годы за рубежом термин “территориальное планирование” (*land-use planning*)

все чаще заменяется термином “пространственное планирование” (*spatial planning*). Эта тенденция, с одной стороны, отражает все более ярко выраженную “трехмерность” городской среды, куда активно вовлекаются освоение подземного пространства и высотное строительство [19, 20, 58, 59, 70]. С другой стороны, по мнению Б. Маркера, пространственное планирование подразумевает комплексный учет всего спектра социальных, экологических и экономических факторов, влияющих на потенциал городского развития [44].

Работы многих зарубежных ученых посвящены **специальному картографированию** территорий городов для планирования городской среды крупных городов с учетом геологических опасностей [23, 38, 39, 54]. Проводится оценка комплекса опасных геологических процессов с последующим зонированием территории по степени пригодности городской территории к различному виду ее использования [11, 23]. Набор учитываемых факторов существенно различен в разных исследованиях. Так, например, при инженерно-геологическом картографировании г. Сан-Паоло (Бразилия) оценивались оползневая опасность, затопление и береговая эрозия [42], для Лиона (Франция) при специальном инженерно-геологическом картировании учитывались склоновые процессы, оползни, проседания и провалы грунтов над горными выработками [69]. В ЮАР при разработке национальной программы по картированию урбанизированных территорий (которые покрывают 55% площади страны) принимались во внимание такие природные опасности, как сейсмические явления, карстовые провалы, набухающие грунты [63]. При инженерно-геологическом картировании территории ряда крупных городов Китая для составления среднесрочных планов городского развития наряду с сейсмической опасностью учитывались такие вторичные природные опасности, индуцируемые сейсмическими событиями, как разжижение грунтов, оползни и цунами [27]. Список примеров таких исследований можно продолжать.

Один из ключевых вопросов специального картографирования заключается в том, какие геологические данные должны учитываться при планировании городского развития. Р. Хак (*Hack R.*) считает, что важность представляют все сведения о трехмерном геологическом пространстве городов: геологические границы, тектонические нарушения, данные о свойствах материалов (включая жидкости и газы), наличие уже существующих подземных и наземных инженерных сооружений, исторические и археологические сведения (археологические артефакты), а также данные о климате,

растительном покрове, землепользовании [30]. По мнению Б. Маркера [44], для обеспечения устойчивого развития городов на основе городского планирования с учетом экологических ограничений необходимо учитывать сведения о:

- расположении прошлых и настоящих горных выработок, а также о местах будущих горных разработок;
- местонахождении ценных минералов и полезных ископаемых, которые должны исключаться из других видов использования территорий;
- охраняемых зонах ресурсов поверхностных и подземных вод;
- ценных сельскохозяйственных угодьях и землях, подверженных эрозии почв;
- районах с разными категориями грунтовых условий, влияющих на стоимость строительного освоения территорий;
- охраняемых природных территориях;
- территориях распространения опасных природных и техногенных процессов и расположении объектов, которые могут быть причиной таковых;
- расположении инженерных сооружений, которые могут быть источником загрязнения окружающей среды;
- местах расположения свалок, предприятий по переработке отходов и участков, пригодных для расположения таких предприятий в будущем.

Первостепенной задачей является разработка *методик комплексной оценки* природных опасностей при специальном картографировании городских территорий и учета многих факторов, накопленных в базах геологических данных городов. Работы многих исследователей посвящены организации ГИСов геоданных городской среды с разным набором компонентов. Как было показано выше, геоинформационные технологии для изучения инженерно-геологических условий городов активно применяются с 1990-х годов. Методика инженерно-геологического картографирования (типизации подземного пространства) урбанизированных территорий с учетом природных опасностей разрабатывалась в работах таких исследователей как Э. де Мульдер, Дж. ван Рой и Дж. Стифф (*Rooy J. L. van, Stiff J. S.*), М. Калшоу, С. Мейзина (*Meisina C.*) [16–18, 48, 49, 64]. Так, например, итальянские исследователи разработали мультидисциплинарную методику инженерно-геологического картирования для городского проектирования и освоения подземного пространства городских территорий на

примере района северной Италии с использованием данных о геологическом, геоморфологическом строении, гидрологических условиях, градостроительном развитии и историческом использовании данной территории [48, 49]. Очень подробно методика инженерно-геологического картирования городской территории и типизация по благоприятности освоения городской среды с перечислением возможных геологических ограничений для развития города освещена в статье авторов из ЮАР [64].

К началу XXI в. ГИС метод многофакторного анализа инженерно-геологических данных для оптимизации планирования градостроительного освоения территорий уже успешно применялся в Великобритании, Греции, Нидерландах, Австралии, Франции, Канаде и многих других странах мира [16, 17]. Разрабатываются способы оценки природных опасностей, создаются специальные интернет-интегрированные механизмы, методики и инструменты, учитывающие пространственно-временную изменчивость и вероятностный механизм проявления опасных процессов. Картирование опасных природных процессов строится на использовании следующих методов: 1) исторического, 2) детерминистического, 3) статистического, 4) вероятностного, 5) экспертных оценок, а также мультикритериального комбинаторного метода автоматизированного комбинирования различных картируемых параметров [63, 69].

Ранжирование опасностей и определение вклада различных факторов в геоэкологическую ситуацию часто осуществляется на основе *метода анализа иерархий* и факторного анализа, так называемого метода Т. Саати. Метод анализа иерархий [5, 66] сводит комплексную многофакторную проблему к последовательности парных сравнений, которые выявляют вклад разных факторов и их веса, а затем синтезируются в матрицу взаимодействия. Широкое применение метода обеспечивается простотой интегрирования разнородных данных. Этот многоцелевой и многоуровневый метод принятия решений широко и успешно применяется за рубежом для геоэкологической оценки пригодности городских территорий для застройки и выявления ограничений к их использованию [69, 72, 73].

По свидетельству Дж. Лоллино, на сегодняшний день существуют различные методики оценки опасных природных процессов для целей городского планирования, обычно связанные с использованием ГИС и полуавтоматизированных технологий [41]. Помимо традиционных эвристических и статистических подходов появляются новые методы, основанные на множественных аспектах системного анализа и искусственном

интеллекте. Тем не менее, чем удобнее в использовании становится система, тем дальше она уведет пользователя от контроля за исходными данными и сходимостью результатов. Как в любом системном анализе, конечные результаты сильно зависят от сложности входных данных – их плотности и распределения, точности измерения параметров, применения архивных данных, климатических характеристик, антропогенного воздействия и т.д. Обобщение опыта использования всех методик позволяет правильно оценивать опасности, создавать более эффективные методики, учитывающие контекст, параметры исходных данных и их сложность [41].

### ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

Наиболее актуальная проблема для обеспечения устойчивого развития городов и городского пространства – разработка методики и процедуры оценки рисков опасных геологических процессов. К сожалению, в зарубежной научной литературе термин “геологический риск” часто ошибочно употребляется как синоним термину “геологическая опасность” [31, 61, 63, 69].

За рубежом теория количественной оценки геологического риска для городов развивается в работах Дж. Нилла (*Knill J.*), Б. Калснаса (*Kalsnes B.*), С. Мора (*Mora S.*), С. Клайтона (*Clayton C.R.I.*) и др. [13, 33, 36, 53]. Так, лауреатом высшей награды МАИГ 2002 г. – премии Г. Клооса – известным английским ученым инженер-геологом Дж. Ниллом риск понимается как функция вероятности проявления опасности для данного инженерного объекта. Последствие (ущерб) реализации этой опасности есть продукт природы опасного процесса и уязвимости системы, на которую оказывается воздействие [36]. Этот подход вполне соответствует теории геологического риска, который развивается в нашей стране [4, 60]. Дж. Нилл отмечает, что количественная оценка риска – задача вполне решаемая для отдельных природных процессов, однако при оценке интегрального риска от нескольких опасностей уровень неопределенности существенно возрастает. По мнению этого ученого, на ранних стадиях инженерных изысканий трудно оценить, какой именно фактор будет являться источником риска для сооружения. На ранней стадии проектирования количественная оценка геологического риска затруднена. Задача инженерной геологии на этом этапе состоит в минимизации риска для сооружений путем его качественной сравнительной оценки [36]. Предлагается составлять каталог

геологических неопределенностей на основе суммирования разного рода геоданных, в том числе сведений о выявленных геологических опасностях, геоморфологических условиях, типах грунтовых условий и специфических грунтах, изменчивых и сложных грунтовых условиях, местах с недостоверной информацией и труднодоступных местах. По мере разработки инженерного проекта такой перечень геологических неопределенностей замещается реестром геотехнического риска [13, 14].

Для перехода от оценки геологических опасностей к оценке геологического риска в городах необходимо учитывать **фактор уязвимости городской среды** к воздействию рассматриваемых опасных природных процессов. Представитель Всемирного банка С. Мора предлагает оценивать уязвимость объектов (реципиентов) риска через инвентаризацию фондов, подверженных природным опасностям. При этом существует понимание того, что такую оценку стоимости можно сделать лишь приблизительно. Всемирным банком создана база данных, подразделяющая городские объекты риска по категориям и функциональному назначению [53]. Итальянские исследователи предлагают оценивать уязвимость (состояние) городской застройки к различным видам геологических опасностей по данным натурного обследования с использованием аэрокосмических снимков [42]. При оценке риска от просадочности грунтов в г. Сан-Паоло, исследователями из Бразилии качественная оценка уязвимости зданий производилась, исходя из стоимости восстановительных работ. В результате проведенного исследования геологический риск был качественно ранжирован на три категории (высокий, средний, низкий) [21]. Китайские исследователи [73] оценивали риск для городской застройки г. Нанкин от воздействия таких опасных геологических процессов, как оползни, береговая эрозия, просадка грунтов и оседания поверхности. Уязвимость городской среды оценивалась ими на основе функционального зонирования с выделением четырех типов зон городской среды в зависимости от их функционального назначения: зоны промышленной, торговой и жилой застройки, складские и парковые территории. Учет ограничений, накладываемых геологическими условиями, и оценка применимости городской территории для застройки проводились по вышеописанному методу анализа иерархий Т. Саати [5, 66, 73]. Такой подход согласуется, например, с методом типологического зонирования геологической среды для освоения подземного пространства городов для Москвы для оценки стоимости, который разрабатывался в нашей стране Г.Л. Коффом [2]. Близкий подход применялся для оценки уязвимости городской среды

городов Алжира путем совмещения карт природных опасностей с картами объектов городской инфраструктуры [51].

Определенный интерес представляет метод оценки уязвимости городской среды к природным опасностям на основе возможного ущерба, который предлагается Р. Блонгом (*Blong R.*) [7]. Автор метода предлагает выражать ущерб через так называемый “дом-эквивалент”, который рассчитывается как произведение коэффициента замены и среднего уровня ущерба. Автором разработана шкала ущерба от различных природных катастроф, основанная на индексе ущерба сооружениям относительно среднего дома в Австралии. Шкала построена так, что ущерб в разных точках от разных событий и/или от нескольких природных катастроф можно сравнить и суммировать. При этом на шкалу практически не влияет инфляция, поэтому можно сравнить влияние на сооружения событий, произошедших в различные годы.

Практически все исследователи для оценки геологического риска на территории городов идут по пути совмещения карт опасных природных процессов с картами уязвимости городской среды. При этом предлагаются различные подходы к оценке уязвимости объектов инфраструктуры, и проблему оценки геологического риска городской среды нельзя считать решенной нигде в мире.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, обзор иностранных публикаций последних десятилетий позволяет сделать следующие выводы. Стремительный процесс урбанизации, охвативший все страны мира, заставляет специалистов в области инженерной геологии уделять все большее внимание проблемам городов. Как свидетельствуют данные по природным катастрофам, большая концентрация населения и экономических объектов в городах приводит к все возрастающим ущербам и человеческим жертвам в результате проявления опасных геологических процессов. За рубежом в самостоятельную научную дисциплину выделилось направление урбанистической геологии, роль которой неуклонно возрастает. Геологами-урбанистами, к которым можно отнести и специалистов в области инженерной геологии и геоэкологии, за последние годы накоплен большой опыт оценки опасных геологических процессов в городах, основным методом изучения которых являются зонирование и специальное картографирование. В настоящее время за рубежом общепризнано, что наиболее эффективным экономическим инструментом для обеспечения устойчивого развития городов и управления рисками является территориальное планирование,

согласованное с картами природных опасностей, где указаны запреты или ограничения к освоению территорий того или иного назначения. В настоящее время наиболее актуальной проблемой для обеспечения устойчивого развития городов и городского пространства является разработка методики и процедуры оценки рисков опасных геологических процессов. Эта проблема на количественном уровне в силу неопределенностей геологической информации не решена еще нигде в мире. Практически все исследователи для оценки геологического риска на территории городов идут по пути совмещения карт опасных природных процессов с картами уязвимости городской среды. При этом рекомендуются различные подходы к оценке уязвимости объектов инфраструктуры, и проблему нельзя считать решенной.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00125).*

## REFERENCES

1. Zerkal, O. V. *Osnovnye napravleniya inzhenerno-geodinamicheskikh issledovaniy na sovremennom etape i razvitiye metodov izucheniya opolznevykh protsessov (po materialam XII Mezhdunarodnogo kongressa MAIG* [The main modern trends in engineering geodynamic research and the development of methods of landslide studies (on the Proceedings of the XII International Congress IAEG)]. *Geoekologiya*, 2015, no. 5, p. 441–449 (in Russian).
2. Koff, G.L., Likhacheva, E.A., Timofeev, D. A. *Geoekologiya Moskvy: metodologiya i metody otsenki sostoyaniya gorodskoi sredy*. [Moscow geocology: methods and procedure of urban environment assessment], Moscow, Media-Press, 2006 (in Russian).
3. Legget, R. *Goroda i geologiya* [Cities and geology] Translated from English, Moscow, Mir, 1976, 559 pp. (in Russian).
4. Ragozin, A. L. *Obshchie polozheniya otsenki i upravleniya prirodnyim riskom* [General issues in assessment and management of natural risk]. *Geoekologiya*, 1999, no. 5, pp. 417–429 (in Russian).
5. Saati, T. *Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarkhii* [Decision making. Method of hierarchy analysis]. Translated from English, Moscow, Radio i svyaz', 1993, 278 p. (in Russian).
6. Bell, F.G., Culshaw, M.G., Forster, A., Nathanail, C. P. The engineering geology of the Nottingham area, UK. In: Culshaw, M.G., Reeves H. J., Jefferson, I., Spink, T.W. (eds) 2009. *Engineering geology for tomorrow's cities*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 22, pp. 1–24. DOI: 10.1144/EGSP22.1.
7. Blong, R. A new damage index, *Natural Hazards*, 2003, 30(1), pp. 1–23.
8. Brennard, T. A. Urban geology note: Oshawa Ontario. In: P. F. Karrow, O. L. White (eds), Geological

Association of Canadian Cities, 1998, p. 353–364.

9. Barka, S.U. Urban natural disasters in the recent seismicity in Istanbul. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
10. The city of Portland's approach to landslide risk reduction. *Proceedings of the International Conference on Engineering Geology and Environmental Geology*, 2009, p. 1–6.
11. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
12. Calkins, J.E. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
13. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
14. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
15. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
16. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
17. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
18. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
19. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
20. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
21. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
22. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
23. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
24. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
25. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
26. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
27. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
28. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
29. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
30. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
31. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
32. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
33. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
34. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.
35. Kozicki, J.M. *Engineering Geology for Non-engineers and Engineers*, 2009, p. 11–15.



- Geology for Tomorrow's Cities*. IAEG 2006, 6–10 Sept. 2006, CD-rom, paper no. 4–282.
61. Rauh, F., Neumann P., Bauer, M. Practical experience with geological and geotechnical risks in urban areas – insights from case studies // In: Proceedings of II European Conference of IAEG, Madrid, Spain, 15–19 September 2008 “Cities and their Underground Environment” (124).
  62. Rees, J.G., Gibson, A.D., Harison, M., Hughes, A., Walsby, J. C. Regional modeling of geohazard change // In: Culshaw, M.G., Reeves, H.J., Jefferson, I. and Spink, T.W. (eds) *Engineering Geology for Tomorrow's Cities*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication, 2009, 22, pp. 49–63.
  63. Richards, N. P. The development of a national geohazards programme for South Africa: why, how, and when? // *Engineering Geology for Tomorrow's Cities*. IAEG 2006, 6–10 Sept. 2006, CD-rom, paper no. 4–410.
  64. Rooy, J.L. van, Stiff, J. S. Guidelines for urban engineering geological investigations in South Africa // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2001, vol. 59, no. 4, pp. 285–295.
  65. Royse, K.R. et al. Geology of London. *Proceedings of the Geologists' Association*, 123 (2012), pp. 22–45.
  66. Saaty, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 2008, vol. 1, no. 1, pp. 83–98.
  67. Sharma, V. K. Zonation of landslide hazard for urban planning: case study of Nainital town, Kumaon Himalya, India, // *Engineering Geology for Tomorrow's Cities*, IAEG 2006, 6–10 Sept. 2006, CD-rom, paper no. 3–191.
  68. Tan, B. K. Urban Geology of Kuala Lumpur and Ipoh, Malaysia // In: Culshaw, M.G., Reeves, H.J. Jefferson, I. and Spink, T.W. (eds) *Engineering Geology for Tomorrow's Cities*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication, 2009, 22, on CD-rom insert, paper 24.
  69. Thierry, P., Vinet, L. Mapping an urban area prone to slope instability: Greater Lyons. // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2001, vol. 62, no. 2, pp. 135–143.
  70. Taselaar, F. M., Kamphuis, A. Spatial planning and the use of the underground in The Netherlands In: Proceedings of II European Conference of IAEG, Madrid, Spain, 15–19 September 2008 “Cities and their Underground Environment”, CD-rom, paper no. 070.
  71. Torok, Akos, Xeidakis, G., Kleb, B., Marinovs P. G. Karst-related engineering geological hazards, a comparative study of Hungary and Greece // *Engineering Geology for Tomorrow's Cities*. IAEG 2006, 6–10 Sept. 2006, CD-rom, paper no. 4–353.
  72. Tsangaratos, P., Rozos, D., Ilija, I., Markantonis K. The use of a spatial multi-criteria technique for urban suitability assessment, due to extensive mass movements. The case study of Vitala village, Kimi, Euboea, greece // *Proceedings XII IAEG Congress*, Torino, vol. 5, pp. 339–345.
  73. Zhang, F., Yang Q., Jia, X., Liu, J., Wang, B. Land-use optimization by geological hazard assessment in Nanjing City, China // *Engineering Geology for Tomorrow's Cities*. IAEG 2006, 6–10 Sept. 2006, CD-rom, paper no. 4–324.

## ASSESSMENT OF EXOGENOUS GEOHAZARDS AND GEOLOGICAL RISK IN URBAN AREAS (REVIEW OF FOREIGN PUBLICATIONS)

V.I. Osipov, O.N. Eremina, I.V. Kozlyakova

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences. E-mail: sci-council@geoenv.ru*

The paper provides the review of foreign scientific publications of the last decades devoted to the state-of-art in geohazard and risk assessment in cities. Rapid urbanization involving all countries of the world impels engineering geologists to pay more attention to cities. The statistics on natural disasters proves that the high concentration of urban population and urban infrastructure results in ever growing economic and human losses as a result of geohazards manifestation. In western countries, urban geology has developed as a special field of geological science, and its role is becoming more important in the last decades. Lately, urban geologists including engineering geologists have gained huge experience in assessing hazardous geological processes in cities, with one of the principal methods being engineering geological zoning and GIS-based special mapping of urban areas. It is commonly recognized now that spatial planning with consideration of natural hazards maps laying restrictions on the territory use appears to be the most efficient economic tool for providing sustainable urban development. The development of geohazard risk assessment procedure is now the most acute issue for urban sustainable development. Due to geodata uncertainties, this problem cannot be considered to be solved.

**Key words:** *exogenous geological hazards, geological risk, engineering geological studies, urban geology, engineering geological mapping, urban spatial planning.*