

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА  
ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 550.8.013

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ РИСКА  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

© 2020 г. В. Н. Булова\*

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН),  
Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия*

\*E-mail: valentina\_burova@mail.ru

Поступила в редакцию 12.04.2020 г.

После доработки 27.04.2020 г.

Принята к публикации 12.05.2020 г.

Разработаны методические подходы к оценке риска урбанизированных территорий на основе моделей его формирования, обусловленных взаимодействием природных и техногенных факторов. Модели формирования риска отвечают конечным таксонам районирования территории по природным и техногенным факторам. Конечный таксон районирования имеет буквенно-цифровой код. Каждому фактору присвоен соответствующий балл на основании экспертной оценки. Интегральная балльная оценка модели риска состоит из баллов природных и техногенных факторов и баллов, характеризующих все возможные связи между ними. Ранжирование по категориям риска проведено с использованием матриц возможных сочетаний природных и техногенных параметров с учетом всех возможных их взаимовлияний. Выделено 7 основных моделей формирования риска и 4 категории риска с соответствующими значениями: менее 20 баллов – низкая, 20–53 – средняя, 54–85 – высокая; более 85 – очень высокая. На основании предложенных подходов оценки риска проведено картографирование по категориям риска участка Покровское-Стрешнево в пределах Северо-Западного административного округа г. Москвы.

**Ключевые слова:** *урбанизированная территория, природные и техногенные факторы, реципиенты опасности, модели риска, оценка риска*

**DOI:** 10.31857/S0869780920050021

ВВЕДЕНИЕ

Процесс урбанизации в XXI в. получил колоссальное развитие. Число городов с населением более 1 млн человек равно 360, а мегаполисов (с населением более 10 млн человек) – 35. Соответственно увеличились площади, численность населения, нагрузки на окружающую среду [4, 13, 15, 16]. Урбанизированные территории – сложные природно-технические системы, характеризующиеся взаимодействием природных и техногенных факторов, обуславливающих негативные изменения и природной, и техногенной среды в виде ее деформирования и (или) разрушения. С увеличением числа вышеперечисленных характеристик городов значительно увеличивается и рост социально-экономических потерь.

Обеспечение безопасного развития городов в современных условиях – одна из важнейших задач во всем мире, решение которой связано, прежде всего, с изучением динамики природы и созданием на этой основе схем территориального развития с учетом всех возможных природных опасностей и функционального назначения тер-

риторий городов. Такое направление нашло яркое отражение в зародившейся и оформившейся в самостоятельную научную дисциплину за рубежом в середине XX в., которая называется “урбанистическая геология”. Основопологающий момент данной дисциплины – обязательный учет и оценка воздействия опасных природных процессов.

Большое внимание уделяется развитию дистанционных методов изучения и мониторингу, совершенствованию методов сбора данных, картографированию и моделированию городской среды, оценке геологических опасностей и рисков для целей рационального городского планирования и использования подземного пространства городов [17]. Практически все исследователи оценивают риск путем совмещения карт опасных природных процессов с картами уязвимости городской среды [8, 11, 20, 21], отраженных на картах геологического или геоэкологического риска.

В России изучением взаимодействия природных и техногенных факторов в пределах урбанизированных территорий занимаются, как правило, инженер-геологи и многие специалисты

смежных дисциплин. Подходы к составлению этих карт весьма различны, и до настоящего времени нет унифицированной методики оценок как уязвимости и опасности природных процессов, так и оценки риска урбанизированной территории [5, 12]. Соответственно данную проблему нельзя считать решенной. К тому же оценка уязвимости до настоящего времени — самая сложная, далеко неопределенная и неразработанная составляющая оценок риска в отличии от оценок опасности, имеющих гораздо большую историю их разработки как в России, так и за рубежом.

В настоящее время по-прежнему уделяется большое внимание данной проблеме, в большинстве случаев в работах делается акцент на социально-экономические оценки и загрязнение городов [1, 19]. Пристальное внимание уделяется распространению природных опасностей в регионах и крупных городах, но без оценки риска как вероятностного ущерба, выраженного в экономических, социальных или балльных оценках [5, 14, 18]. Есть очень интересные работы по картографированию урбанизированных территорий, в основе которых заложен принцип взаимосвязи природных компонентов и учет нарушения этих связей под влиянием техногенных воздействий. Но, все эти принципиальные моменты касаются элементов ландшафта, а в конечном итоге — их загрязнения [12].

Основная цель данной работы — разработка новых подходов к оценке риска городских территорий, подверженных воздействию опасных природных процессов и их взаимодействию с техногенными объектами.

Обсуждаемые подходы включают в себя районирование территории по основным природным и техногенным факторам, определяющим модели формирования риска, типизацию реципиентов опасности, выбор модели для каждого конкретного случая, ранжирование риска по категориям, оценку риска и картографирование участка исследований. Под моделями понимается определенный алгоритм развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов и их взаимодействий с конкретным объектом (реципиентом опасности). Возникающие при этом взаимодействия потери чаще всего проявляются в виде деформирования и разрушения зданий и сооружений, выраженные в соответствующих показателях риска.

В работе предложена балльная оценка риска, учитывающая значимость влияния каждого фактора (природного и техногенного) на модель формирования риска и его конечные значения. Значимость каждого фактора определяется на основе проведенной унификации и экспертной оценки, что делает предложенный подход оценки риска

универсальным и имеющим некоторые преимущества, а также дающим возможность наглядно продемонстрировать его применение для составления карт риска урбанизированных территорий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования и разработка основных подходов к оценке риска урбанизированной территории в данной работе привязаны к г. Москве — крупнейшему мегаполису России.

Исходя из разработанной методологии оценки риска, при любых уровнях исследования, в первую очередь, необходимо иметь четкое представление об источниках и реципиентах опасности, что позволяет выделить однотипные модели формирования риска, соответственно характеризующиеся сопоставимыми потерями в пределах оцениваемых территорий [7].

Природным источником опасности являются опасные геологические и инженерно-геологические процессы, развивающиеся на территории крупных городов. Реципиенты опасности на урбанизированной территории — объекты промышленного, гражданского, административного, транспортного строительства и т.д.

Основные экономические ущербы и риски потерь от проявления опасных процессов на урбанизированных территориях приурочены к застроенным и транспортным зонам. Формирование риска в этих зонах происходит по сложным сценариям.

Определение этих сценариев связано, в первую очередь, с выделением реципиентов риска (основных объектов, на которые воздействуют опасные природные и природно-техногенные процессы и которые, в свою очередь, провоцируют их развитие).

Совершенно очевидно присутствие огромного многообразия как техногенных, так и природных факторов, обуславливающих риски потерь на территории городов. Поэтому первоочередной задачей представляется проведение унификации факторов и доказательности их влияния на формирование риска в обеих средах, что отражено в работе при проведении районирования территории городов [2]. Конечный таксон районирования характеризуется определенным содержанием природного и техногенного характера, отраженного в буквенно-цифровом выражении и соответствии балльному эквиваленту.

## ХАРАКТЕРИСТИКА И ОЦЕНКА ПРИРОДНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Для характеристики природной составляющей конечных таксонов районирования использована карта инженерно-геологического районирования

территории г. Москвы масштаба 1:10000 [6]. Конечные таксоны районирования территории по природным факторам соответствуют инженерно-геологическим массивам (ИГМ), характеризующимся различным сочетанием критериев, обуславливающих сложность инженерно-геологических условий.

В соответствии с картой инженерно-геологического районирования основные критерии отнесения к различным категориям сложности (а – низкой, б – средней, в – высокой) инженерно-геологических условий (ИГУ):

1) процесс подтопления территории (глубина залегания грунтовых вод менее 5 м);

2) неглубокие оползни;

3) потенциальная карстово-суффозионная опасность;

4) актуальная карстово-суффозионная опасность;

5) глубокие блочные оползни;

6) техногенные грунты, мощностью более 6 м;

7) неоднородная толща в разрезе оцениваемой территории с включением слабых и (или) специфических грунтов (торф, ил), мощностью более 2 м.

В пределах территорий, характеризующихся низкой (а) категорией сложности ИГУ, все перечисленные параметры отсутствуют. На территориях со средней категорией сложности (б) отмечено наличие критериев 1, 2 или 3, с высокой категорией сложности (в) – критерии 4–7, либо различное сочетание критериев 1–7.

Анализ распространения ИГМ на территории Москвы позволил выделить 10 вариантов природной составляющей (Пр<sub>1</sub>-Пр<sub>10</sub>), отличающихся по количеству критериев, определяющих категорию сложности ИГУ (табл. 1). Критериям 1, 2 и 3 присваивается 1 балл; критериям 4, 5, 6 и 7 – 2 балла. Все встреченные варианты соотношения критериев оцениваются различными значениями – от 0 (их отсутствие) до 25 баллов (см. табл. 1).

### ХАРАКТЕРИСТИКА И ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Выделение реципиентов опасности проведено для застроенной жилой (ЗЖ) и транспортной (Т) зон на основе унификации данных об объектах этих зон, с присвоением каждому реципиенту соответствующего балла.

**Застроенная жилая зона.** Тип застроенной жилой зоны или реципиент опасности выделяется в том случае, если он составляет не менее 25% по площади от всех типов застройки в пределах оцениваемой территории. Застроенная зона подразделяется на различные основные типы (реципиенты опасности) по различным параметрам: материал и технология строительства, этажность,

**Таблица 1.** Характеристика природной составляющей конечных таксонов районирования (ИГМ)

| Варианты (коды)  | Количество критериев |               | Условные баллы |
|------------------|----------------------|---------------|----------------|
|                  | Категория (б)        | Категория (в) |                |
| Пр <sub>1</sub>  | –                    | –             | –              |
| Пр <sub>2</sub>  | 1                    | –             | 1              |
| Пр <sub>3</sub>  | –                    | 1             | 2              |
| Пр <sub>4</sub>  | 2                    | –             | 4              |
| Пр <sub>5</sub>  | 1                    | 1             | 6              |
| Пр <sub>6</sub>  | –                    | 2             | 8              |
| Пр <sub>7</sub>  | 3                    | –             | 9              |
| Пр <sub>8</sub>  | 2                    | 1             | 12             |
| Пр <sub>9</sub>  | 1                    | 2             | 15             |
| Пр <sub>10</sub> | 2                    | 2             | 25             |

время эксплуатации (возраст), принадлежность к типовому или индивидуальному проектам, что определяет различную уязвимость объекта от опасности определенного генезиса и интенсивности [2]. Дополнительно в качестве реципиентов в пределах жилой застройки учитываются уникальные объекты, историко-культурные и архитектурные памятники (у. об.), а также точечная застройка (т. ст.) в пределах старой на месте снесенных зданий.

Сочетание различных типов застройки жилой зоны теоретически позволяет выделить 12 возможных различных комплектаций основных и дополнительных реципиентов. Исходя из положения о том, что основной тип (реципиент) определяется в том случае, если он занимает не менее 25% площади застройки на оцениваемой территории, и анализа практического распространения реципиентов в застроенной жилой зоне, принято условие об использовании не более трех типов реципиентов (основных и вспомогательных) на оцениваемой территории.

Таким образом, для территории г. Москвы были использованы 8 преобладающих комплектаций указанных реципиентов, которые учитывались при оценках риска [ЗЖ1–ЗЖ8]. Преобладающее число комплектаций относится к сочетанию основных типов реципиентов. Характеристика всех этих комплектаций реципиентов представлена в табл. 2.

Для интегральной оценки выделенных сочетаний типов застройки и дальнейшей оценки риска также были использованы баллы для каждого выделенного типа. Балл назначался, исходя из сложности оценки уязвимости, основанной на учете не только реакции объекта на воздействие опасности, но и взаимодействие объектов. Жи-

**Таблица 2.** Характеристика различных сочетаний реципиентов риска в жилой застройке

| Реципиенты риска |                     | Количество | Условные баллы | Код сочетаний реципиентов* |
|------------------|---------------------|------------|----------------|----------------------------|
| основные         | дополнительные      |            |                |                            |
| 1                | —                   | 1          | 1              | ЗЖ1                        |
| 1 + 1            | —                   | 2          | 4              | ЗЖ2                        |
| 1                | (у. об.)            | 2          | 6              | ЗЖ3                        |
| 1                | (т. ст.)            | 2          | 8              | ЗЖ4                        |
| 1 + 1 + 1        | —                   | 3          | 9              | ЗЖ5                        |
| 1 + 1            | (у. об.)            | 3          | 12             | ЗЖ6                        |
| 1 + 1            | (т. ст.)            | 3          | 15             | ЗЖ7                        |
| 1                | (у. об.) + (т. ст.) | 3          | 18             | ЗЖ8                        |

\* Застроенная жилая зона:

ЗЖ1 – с 1-м типом жилых зданий, занимающих >75% оцениваемой территории;

ЗЖ2 – с 2-мя типами жилых зданий, занимающих >75% оцениваемой территории;

ЗЖ3 – с 1-м типом жилых зданий, занимающих не менее 75% оцениваемой территории и уникальными объектами;

ЗЖ4 – с 1-м типом жилых зданий, занимающих >75% оцениваемой территории, в пределах которой осуществляется точечное строительство;

ЗЖ5 – с 3-мя типами жилых зданий, занимающих >75% оцениваемой территории;

ЗЖ6 – с 2-мя типами жилых зданий, занимающих не менее 75% оцениваемой территории и уникальными объектами;

ЗЖ7 – с 2-мя типами жилых зданий, занимающих не менее 75% оцениваемой территории, в пределах которой осуществляется точечное строительство;

ЗЖ8 – с 1-м типом жилых зданий, занимающих >75% оцениваемой территории и уникальными объектами, в пределах которой осуществляется точечное строительство.

лым типовым зданиям присвоен 1 балл, уникальным объектам – 2 балла, реципиентам точечной застройки – 3 балла.

**Транспортная зона.** В местах расположения трасс метрополитена и автодорог отмечаются аномальные значения величин оседания поверхности земли и плотности деформированных зданий. На участках сосредоточения центральных пересадочных пунктов метро и прохождения главных наземных магистралей величины осадок достигают 4 мм/год (при среднем значении 1–2 мм/год), а плотность деформаций до 12 зд./км<sup>2</sup> (при среднем значении 3 зд./км<sup>2</sup>). Таким образом, наличие автомагистралей и метрополитена в пределах жилой застройки увеличивает число деформированных зданий от 2 до 4 раз. Это использовано при присваивании баллов различным типам транспортных зон.

**Таблица 3.** Характеристика реципиентов риска транспортных зон

| Коды реципиентов транспортной зоны | Условный балл |
|------------------------------------|---------------|
| M1, A1, Жд1                        | 1             |
| A2, Жд2                            | 2             |
| M3, A3, ТУ3                        | 3             |
| M4, A4, ТУ4                        | 4             |
| ТУ5                                | 5             |

При выборе реципиентов транспортной зоны учитывались данные по месту их прохождения и расположения в различных высотных поясах и сочетанию различных видов транспорта: метрополитен (М), автодороги (А), железные дороги (Жд). Отдельно выделяются и типизируются транспортные узлы (ТУ), состоящие из пересечения или совместного расположения линий метрополитена, автомобильных и железных дорог [2].

Выделенным реципиентам транспортной зоны присвоены соответствующие баллы с учетом подходов их типизации (табл. 3). Таким образом, определились 12 типов реципиентов транспортной зоны, характеризующихся значениями баллов от 1 до 5, которые могут располагаться в пределах зон жилой застройки и оказывать воздействие на ее реципиенты. В дальнейших расчетах риска используется один из приведенных кодов реципиентов транспортной зоны.

В пределах жилой застроенной зоны теоретически могут быть встречены самые различные сочетания реципиентов транспортной зоны, но на самом деле в этой зоне по генплану города не предусмотрено расположение крупных транспортных наземных узлов. Все выделенные коды метро могут встречаться в пределах всех сочетаний типов жилой застройки. Также расчеты осуществлялись из положения о том, что, если в пределах оцениваемой территории расположено несколько кодов реципиентов транспортных зон, то они осуществляются по наихудшему сценарию,

т.е. учитывается присвоенное наибольшее значение баллов.

### ОЦЕНКА РИСКА

Оценка и ранжирование риска по категориям были проведены на основе матрицы возможных 530 сочетаний природных и техногенных факторов (схем их взаимодействия) (рис. 1).

Каждой схеме (из 530 возможных) соответствуют определенное количество баллов в зависимости от числа факторов (природных и техногенных), их значения в баллах, а также количество связей (взаимовлияние) между факторами и их значения в баллах. Каждый фактор в этих схемах влияет на все остальные и получает также ответное воздействие. Условно эти взаимодействия равны сумме баллов факторов каждого такого взаимовлияния. Количество факторов в схемах изменяется от 2 до 8, а количество связей между ними – от 1 до 28. Количество связей строго определяется количеством факторов. Максимальное количество факторов, равно 8, может складываться из 4 природных факторов (Пр<sub>10</sub>) и 4 техногенных (разные сочетания из реципиентов ЗЖ и Т зон). Техногенные факторы, участвующие в этих схемах следующие: ЗЖ5, ЗЖ6, ЗЖ7, ЗЖ8 и М1, А1, Жд1, А2, Жд2, М3, А3, ТУ3, М4, А4, ТУ4, ТУ5) (см. табл. 1–3).

Интегральная сумма баллов ( $\Sigma_0$ ) для каждой схемы состоит из суммы всех факторов и суммы всех связей между факторами и определяется по формуле:

$$\Sigma_0 = \sum_{i=1}^n (a_i + \dots + a_n) + \sum_{j=1}^m (b_j + \dots + b_m) \quad (1)$$

где  $a$  – фактор (природный или техногенный, с определенным количеством баллов, в соответствии с табл. 1–3);  $n$  – количество факторов;  $b$  – связи (взаимовлияние) между факторами (каждое значение равно сумме баллов факторов);  $m$  – количество связей.

На рис. 2 представлен пример одной из возможных схем сочетания природных и техногенных факторов (моделей формирования риска) характеризуется сочетанием 1 природного фактора с 1 баллом (Пр<sub>2</sub>) (см. табл. 1) с 3 техногенными факторами с баллами 1, 1 и 3, что отвечает ЗЖ7 (см. табл. 2). Соответственно количество связей в этой схеме равно 6. Код данной схемы: ЗЖ7Пр<sub>2</sub> (см. рис. 1, табл. 1, 2), что означает – оцениваемая территория относится к средней категории сложности ИГУ, к застроенной жилой зоне с двумя типами жилых зданий, занимающих не менее 75% оцениваемой территории, в пределах которой осуществляется точечное строительство. Балль-

ная оценка данной схемы-модели в соответствии с (1) равна 24.

Анализ всех возможных 530 сочетаний природных и техногенных факторов в соответствии с матрицей (см. рис. 1) позволил выделить 7 моделей формирования риска, характеризующихся определенным количеством факторов, их связью, значимостью и балльной оценкой. Первая модель формирования риска характеризуется 2 природно-техногенными факторами и 1 связью между ними. Вторая модель предполагает 3 фактора и 3 связи, третья – 4 фактора и 6 связей, четвертая – 5 факторов и 10 связей, пятая – 6 факторов и 15 связей, шестая – 7 факторов и 21 связь и седьмая – 8 факторов и 28 связей.

На рис. 3 изображена схема-модель формирования риска возможного конечного таксона районирования убранизированной территории с наибольшим возможным количеством факторов и связей между ними (8 факторов и 28 связей – модель 7).

Суммарная балльная оценка схем-моделей формирования риска изменяется от 4 до 133 баллов. Максимальное значение баллов для вариантов 2 и 1 соответственно составляет 85 и 53. Эти данные были использованы для ранжирования полученных балльных оценок по категориям риска на основе деления ряда значений по плотности их распределения. Выделены четыре категории риска: низкая – территории, в пределах которых значение риска (количество баллов) менее 20, средняя – 20–53, высокая – 54–85 и очень высокая – более 85 (см. рис. 1).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

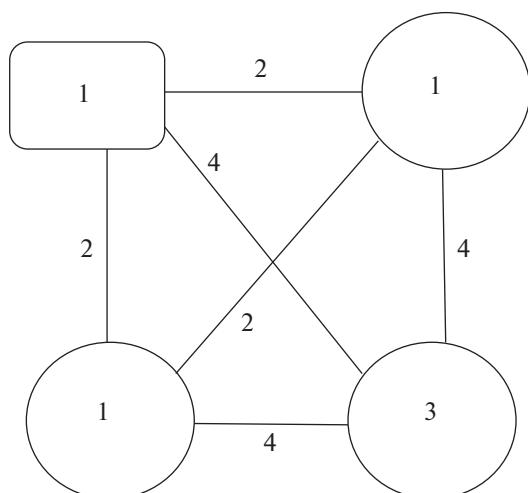
На основе разработанных подходов к определению моделей формирования риска и проведенному ранжированию полученных значений (баллов) рассчитаны значения риска для участка Покровское-Стрешнево Северо-Западного округа г. Москвы (рис. 4).

В пределах оцениваемой территории выделены два ИГМ (Пр1 и Пр2), отличающихся сложностью инженерно-геологических условий. Техногенная составляющая таксона Пр2 полностью относится к ЗЖ7 – застроенной жилой зоне, в пределах которой выделены 3 разных типа реципиентов (2 типа жилых зданий, занимающих не менее 75% оцениваемой территории, в пределах которой также осуществляется точечное строительство).

Следовательно, на данном участке риск формируется по модели 3, т.е. в ней задействованы 4 параметра (Пр2 и ЗЖ7 – 2 типа жилых домов и точечное строительство – 1 + 1 + т.ст.) с разной значимостью и 6 различных взаимодействий. Интегральное значение всех этих факторов и взаи-

| Код техногенной характеристики, в скобках условные баллы |            | Код природной характеристики и конечного таксона районирования, в скобках условные баллы |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                         |                         |                          |
|--|------------|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|  |            | Пр <sub>1</sub><br>(-)   | Пр <sub>2</sub><br>(1) | Пр <sub>3</sub><br>(2) | Пр <sub>4</sub><br>(4) | Пр <sub>5</sub><br>(6) | Пр <sub>6</sub><br>(8) | Пр <sub>7</sub><br>(9) | Пр <sub>8</sub><br>(12) | Пр <sub>9</sub><br>(15) | Пр <sub>10</sub><br>(21) |
|  |            | 1  | 2                      | 3                      | 4                      | 5                      | 6                      | 7                      | 8                       | 9                       | 10                       |
| 1  | T1 (1)     | 1  | 4                      | 6                      | 9                      | 12                     | 15                     | 16                     | 20                      | 24                      | 28                       |
| 2  | ЗЖ1 (1)    | 1  | 4                      | 6                      | 9                      | 12                     | 15                     | 16                     | 20                      | 24                      | 28                       |
| 3  | T2 (2)     | 2  | 6                      | 8                      | 12                     | 15                     | 18                     | 20                     | 24                      | 28                      | 40                       |
| 4  | T3 (3)     | 3  | 8                      | 10                     | 15                     | 18                     | 21                     | 24                     | 28                      | 32                      | 45                       |
| 5  | ЗЖ2 (4)    | 4  | 9                      | 12                     | 16                     | 20                     | 24                     | 25                     | 30                      | 35                      | 48                       |
| 6  | T1ЗЖ1 (4)  | 4  | 9                      | 12                     | 16                     | 20                     | 24                     | 25                     | 27                      | 28                      | 47                       |
| 7  | T4 (4)     | 4  | 10                     | 12                     | 18                     | 21                     | 24                     | 28                     | 32                      | 36                      | 48                       |
| 8  | T2ЗЖ1 (6)  | 6  | 11                     | 15                     | 20                     | 24                     | 28                     | 30                     | 35                      | 38                      | 54                       |
| 9  | ЗЖ3 (6)    | 6  | 12                     | 15                     | 20                     | 24                     | 28                     | 30                     | 35                      | 41                      | 54                       |
| 10   | T5 (5)     | 5  | 12                     | 14                     | 21                     | 24                     | 27                     | 32                     | 36                      | 40                      | 53                       |
| 11   | ЗЖ4 (8)    | 8  | 15                     | 18                     | 24                     | 28                     | 32                     | 35                     | 40                      | 45                      | 50                       |
| 12   | T3ЗЖ1 (8)  | 8  | 15                     | 18                     | 24                     | 28                     | 32                     | 35                     | 42                      | 45                      | 60                       |
| 13   | T1ЗЖ2 (9)  | 9  | 16                     | 20                     | 23                     | 28                     | 32                     | 36                     | 41                      | 50                      | 63                       |
| 14   | ЗЖ5 (9)    | 9  | 16                     | 20                     | 25                     | 30                     | 35                     | 36                     | 42                      | 51                      | 63                       |
| 15   | T4ЗЖ1 (10) | 10   | 18                     | 21                     | 28                     | 32                     | 36                     | 40                     | 45                      | 50                      | 66                       |
| 16   | T5ЗЖ1 (12) | 12   | 20                     | 24                     | 30                     | 35                     | 40                     | 42                     | 48                      | 54                      | 70                       |
| 17   | ЗЖ6 (12)   | 12   | 20                     | 24                     | 30                     | 35                     | 40                     | 43                     | 50                      | 55                      | 70                       |
| 18   | T1ЗЖ3 (12) | 12   | 20                     | 24                     | 30                     | 35                     | 40                     | 42                     | 48                      | 54                      | 70                       |
| 19   | T2ЗЖ2 (12) | 12   | 20                     | 24                     | 30                     | 35                     | 19                     | 42                     | 48                      | 54                      | 70                       |
| 20   | T3ЗЖ2 (15) | 15   | 24                     | 28                     | 35                     | 40                     | 45                     | 48                     | 54                      | 60                      | 77                       |
| 21   | ЗЖ7 (15)   | 15   | 24                     | 28                     | 35                     | 40                     | 45                     | 48                     | 54                      | 60                      | 77                       |
| 22   | T2ЗЖ3 (15) | 15   | 24                     | 28                     | 35                     | 40                     | 45                     | 48                     | 54                      | 60                      | 77                       |
| 23   | T1ЗЖ4 (15) | 15   | 24                     | 28                     | 35                     | 40                     | 45                     | 48                     | 54                      | 60                      | 77                       |
| 24   | T1ЗЖ5 (16) | 16   | 25                     | 30                     | 36                     | 42                     | 48                     | 49                     | 54                      | 60                      | 79                       |
| 25   | T2ЗЖ4 (18) | 18   | 28                     | 32                     | 40                     | 45                     | 50                     | 57                     | 61                      | 66                      | 84                       |
| 26   | T3ЗЖ3 (18) | 18   | 28                     | 32                     | 40                     | 45                     | 50                     | 57                     | 61                      | 66                      | 84                       |
| 27   | T4ЗЖ2 (18) | 18   | 28                     | 32                     | 40                     | 45                     | 50                     | 57                     | 61                      | 66                      | 84                       |
| 28   | T2ЗЖ5 (20) | 20   | 30                     | 35                     | 42                     | 48                     | 50                     | 54                     | 55                      | 65                      | 80                       |
| 29   | T1ЗЖ7 (20) | 20   | 30                     | 35                     | 42                     | 48                     | 50                     | 54                     | 55                      | 65                      | 80                       |
| 30   | ЗЖ8 (18)   | 18   | 28                     | 32                     | 40                     | 45                     | 50                     | 55                     | 60                      | 66                      | 85                       |
| 31   | T1ЗЖ6 (17) | 17   | 30                     | 35                     | 42                     | 48                     | 54                     | 56                     | 61                      | 70                      | 85                       |
| 32   | T5ЗЖ2 (21) | 21   | 32                     | 36                     | 45                     | 50                     | 55                     | 60                     | 66                      | 72                      | 92                       |
| 33   | T4ЗЖ3 (21) | 21   | 32                     | 36                     | 45                     | 50                     | 55                     | 60                     | 66                      | 72                      | 92                       |
| 34   | T3ЗЖ4 (21) | 21   | 32                     | 36                     | 45                     | 50                     | 55                     | 60                     | 34                      | 72                      | 92                       |
| 35   | T5ЗЖ3 (24) | 24   | 36                     | 40                     | 48                     | 56                     | 60                     | 63                     | 70                      | 77                      | 97                       |
| 36   | T4ЗЖ4 (24) | 24   | 36                     | 40                     | 48                     | 56                     | 60                     | 63                     | 70                      | 77                      | 97                       |
| 37   | T3ЗЖ5 (24) | 24   | 36                     | 40                     | 48                     | 56                     | 60                     | 63                     | 70                      | 77                      | 97                       |
| 38   | T2ЗЖ6 (24) | 24   | 36                     | 40                     | 48                     | 56                     | 60                     | 63                     | 70                      | 77                      | 97                       |
| 39   | T5ЗЖ4 (28) | 28   | 40                     | 45                     | 54                     | 60                     | 66                     | 70                     | 77                      | 84                      | 104                      |
| 40   | T3ЗЖ6 (28) | 28   | 40                     | 45                     | 54                     | 60                     | 66                     | 70                     | 77                      | 84                      | 104                      |
| 41   | T2ЗЖ7 (28) | 28   | 40                     | 45                     | 54                     | 60                     | 66                     | 70                     | 77                      | 84                      | 104                      |
| 42   | T1ЗЖ8 (28) | 28   | 40                     | 45                     | 54                     | 60                     | 66                     | 70                     | 77                      | 84                      | 104                      |
| 43   | T4ЗЖ5 (28) | 28   | 40                     | 45                     | 54                     | 60                     | 66                     | 70                     | 77                      | 84                      | 104                      |
| 44   | T5ЗЖ5 (32) | 32   | 45                     | 50                     | 60                     | 66                     | 72                     | 77                     | 84                      | 91                      | 112                      |
| 45   | T3ЗЖ7 (32) | 32   | 45                     | 50                     | 60                     | 66                     | 72                     | 77                     | 84                      | 91                      | 112                      |
| 46   | T4ЗЖ7 (32) | 32   | 45                     | 50                     | 60                     | 66                     | 72                     | 77                     | 84                      | 91                      | 112                      |
| 47   | T2ЗЖ8 (32) | 32   | 45                     | 50                     | 60                     | 66                     | 72                     | 77                     | 84                      | 91                      | 112                      |
| 48   | T4ЗЖ6 (32) | 32   | 45                     | 50                     | 60                     | 48                     | 72                     | 77                     | 84                      | 91                      | 112                      |
| 49   | T5ЗЖ6 (36) | 36   | 50                     | 55                     | 66                     | 72                     | 77                     | 84                     | 91                      | 98                      | 120                      |
| 50   | T3ЗЖ8 (36) | 36   | 50                     | 55                     | 66                     | 72                     | 77                     | 84                     | 91                      | 98                      | 120                      |
| 51   | T5ЗЖ7 (40) | 40   | 55                     | 60                     | 72                     | 78                     | 83                     | 99                     | 104                     | 111                     | 126                      |
| 52   | T4ЗЖ8 (40) | 40   | 55                     | 60                     | 72                     | 78                     | 83                     | 99                     | 104                     | 111                     | 126                      |
| 53   | T5ЗЖ8 (40) | 44   | 60                     | 65                     | 78                     | 84                     | 90                     | 98                     | 105                     | 112                     | 133                      |

**Рис. 1.** Матрица соотношений кодов техногенной (ЗЖ, Т) и природной (Пр) составляющих конечных таксонов районирования. 1. ЗЖПр – это 80 теоретически возможных комбинаций для 8 различных кодов реципиентов опасности застроенной жилой зоны (ЗЖ), расположенных в различных природных условиях (Пр), отличающихся по количеству и значимости критериев; 2. ТПр – это 50 теоретически возможных комбинаций для 5 реципиентов опасности транспортной зоны (Т), также расположенных в различных природных условиях (Пр), отличающихся по количеству и значимости критериев; 3. ТЗЖПр – комбинации из первых двух вариантов, отвечающие 400 различным значениям взаимозависимости указанных параметров.



**Рис. 2.** Схема модели формирования риска: овалный прямоугольник – природный фактор с соответствующими баллами; круги – техногенные факторы с соответствующими баллами; цифры у линий – баллы, характеризующие связи (взаимовлияние) между факторами.

модействий составляет 24 балла, и соответственно этот участок отнесен к средней категории риска (см. рис. 4).

В пределах таксона, характеризующегося низкой категорией сложности инженерно-геологических условий (Пр1) выделяется три участка с различной степенью техногенной нагруженности – ЗЖ1 (застроенная жилая зона с одним типом реципиента), ЗЖ7 (застроенная жилая зона с тремя типами реципиентов) и Т4ЗЖ3 (застроенная жилая зона с двумя типами жилых домов, в пределах которой расположена транспортная зона с двумя типами реципиентов).

Формирование риска, в пределах первого участка (ЗЖ1Пр1) происходит по модели 1, и соответ-

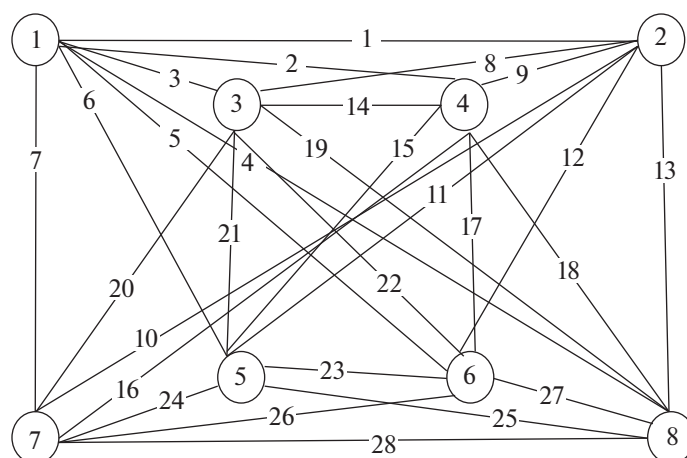
ствующее ей количество баллов равно 4 (низкая категория риска). Второй участок (ЗЖ7Пр1) отвечает модели 3 с суммой баллов 15 и также относится к низкой категории риска. Третий участок (Т4ЗЖ3) в пределах этой зоны отнесен к средней категории риска, в модели (4 модель) формирования которого задействованы 5 факторов и 10 связей. Итоговая балльная оценка равна 23.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные о балльной оценке риска урбанизированных территорий (Покровское-Стрешнево Северо-Западного административного округа г. Москвы) позволяют оценить современное состояние конкретной территории (наличие и степень опасности инженерно-геологических процессов, техногенную нагруженность – сочетание реципиентов опасности и их балльное значение) и выбрать наиболее благоприятные участки для строительства и другие варианты использования территории.

Предложенные подходы и полученные результаты сопоставимы с работами других российских и зарубежных авторов в плане учета большого разнообразия факторов формирования риска и применения метода многокритериального анализа [3, 10, 12]. Но, как правило, во всех этих работах основной упор сделан на оценку геоэкологических последствий, выраженных через загрязнение городской среды или оценку проблемы, связанную с развитием конкретного процесса [10, 14], либо с проблемами создания “умного города” [9, 19]. В основном рассматриваются экономические возможности городов, связанные с улучшением ситуации относительно загрязнения окружающей среды.

Полученные результаты являются конкретными и необходимыми не только для лиц, принима-



**Рис. 3.** Схема-модель № 7 формирования риска (8 природных и техногенных факторов и 28 связей между ними).





**Рис. 4.** Фрагмент карты-схемы оценки риска участка Покровское-Стрешнево. Категории риска: 1 – низкая; 2 – средняя. 3 – код природно-техногенных условий. Границы между: 4 – ИГМ, 5 – типами техногенной нагруженности.

ющих решения, но и для специалистов, занимающихся данной проблемой во всем мире, так как интегрируют в себе огромную информацию о природной и техногенной составляющих урбанизированной территории. На наш взгляд, такой подход весьма уместен и перспективен для создания схем территориального планирования и развития, вполне вписывается в мировую политику изучения и использования урбанизированных территорий и даже способен конкурировать в плане универсальности и достаточной простоты использования предложенного алгоритма оценки состояния (риска) урбанизированных территорий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные методические подходы оценки риска для застроенной жилой и транспортных

зон урбанизированных территорий включают в себя:

- выбор и обоснование природных факторов формирования риска в пределах конечных таксонов районирования оцениваемой территории по природно-техногенным условиям;

- выбор и обоснование техногенных факторов (реципиентов опасности) застроенной жилой зоны (определение типов жилой застройки на основе принципа об однородности типов застройки, исходя из принятого положения о том, что тип застройки выделяется в том случае, если он составляет не менее 25% всех типов застройки в пределах оцениваемой территории);

- выбор и обоснование техногенных факторов (реципиентов опасности) транспортной зоны (определение типов транспортной зоны по аналогии с определением типов жилой застройки);



– присвоение баллов каждому типу природных факторов и реципиентов на основе экспертной оценки, учитывающей влияние выделенных типов на объекты (реципиенты) риска;

– составление матриц возможных сочетаний природных и техногенных факторов, оценка интегральных значений, ранжирование по категориям риска;

– картографирование оцениваемой территории по категориям риска (баллы).

Дальнейшее развитие научных исследований оценки риска урбанизированных территорий видится в следующих основных направлениях:

а) соотнесение балльных оценок риска с экономическими эквивалентами, т.е. в приравнивании 1 балла определенным экономическим потерям на основе эмпирических, статистических и/или данных моделирования взаимодействия и взаимовлияния природных факторов (опасностей) и техногенных объектов (реципиентов опасности);

б) создание унифицированной методики оценки риска мегаполисов.

Полученные результаты оценок риска участка Покровское-Стрешнево могут быть рекомендованы городским органам управления для разработки программ безопасного использования и/или застройки и реконструкции района.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 16-17-00125 “Оценка риска опасных природных процессов на урбанизированных территориях”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анопченко Т.Ю., Мурзин А.Д., Савон Д.Ю., Сафронов А.Е.* Анализ рисков развития урбанизированных территорий // Экономика в промышленности. 2016. № 3. С. 202–208. <https://doi.org/10.1707/2072-1663-2016-3-202-208>
2. *Бурова В.Н.* Особенности районирования урбанизированных территорий для оценок риска от опасных природных процессов // Геоэкология. 2019. № 6. С. 106–111. <https://doi.org/10.31857/S0869.780920196106.111>
3. *Калманова В.Б.* Геоэкологическое картографирование урбанизированных территорий (на примере г. Биробиджана) // Матер. Междунар. конф. “ИнтерКарто. ИнтерГИС”. 2015. 21 (1). С. 566–574. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2015-1-21-566-574>
4. *Кочуров Б.И., Ивашкина И.В., Фомина Н.В., Лобковская Л.Г.* Принципы и приемы развития современного города как сложной урбоэкосоциосистемы // Градостроительство и планирование сельских населенных пунктов. 2018. № 3. С. 83–89. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2018-13083>
5. *Куст Г.С., Андреева О.Е., Лобковский В.А., Костовская С.К.* Методические подходы к разработке типологии моделей устойчивого землепользования // Экология урбанизированных территорий. 2019. № 3. С. 34–40. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2019-13034>
6. *Лаггет Р.* Города и геология. Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 559 с.
7. *Любимова Т.В., Бондаренко Н.А., Стогний В.В., Погорелов А.В.* Разработка научно-методических основ оценки интегрального риска проявления экзогенных геологических процессов на территории Краснодарского края // Бюллетень науки и практики [электрон. журн.]. 2017. № 11 (24). С. 205–214. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/luybimova>
8. *Новиков А.А., Игнатов Е.И., Исаев В.С. и др.* Оценка геозологических рисков урбанизированных прибрежных территорий // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2018. Т. 4 (14). Вып. 4. С. 100–108.
9. *Осинов В.И., Бурова В.Н. и др.* Карта крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы // Геоэкология. 2011 № 4. С. 306–319.
10. *Осинов В.И., Еремينا О.Н., Козлякова И.В.* Оценка экзогенных опасностей и геологического риска на урбанизированных территориях (обзор зарубежного опыта) // Геоэкология. 2017. № 3. С. 3–15.
11. *Природные опасности России. Оценка и управление природным риском. Тематический том / Под ред. А.Л. Рагозина.* М.: Изд-во “КРПУК”, 2003. 320 с.
12. *De Mulder E.F.J. & Pereira, J.J.* Earth Science for the city // Engineering geology for tomorrow’s cities. Culshaw M.G., Reeves H.J., Jefferson, I., & Spink, T.W. (eds.) Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 2009. 22. P. 25–31. <https://doi.org/10.1144/EGSP22.2>
13. *Engineering geology for society and territory. Vol. 5, Lollino G., (eds.)* Springer International Publishing, Switzerland, 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1>
14. *Legget R.F.* Cities and geology. New York, McGraw-Hill Book Co., 1973. 624 p.
15. *Lei M., Gao Y., Jiang X.* Current Status and Strategic Planning of Sinkhole Collapses in China // Engineering geology for society and territory. Lollino G., (eds.), Vol. 5, Springer International Publishing, Switzerland, 2015. P. 529–534.
16. *Marker B.R.* Geology of megacities and urban areas // Engineering geology for tomorrow’s cities. Culshaw, M.G., Reeves H.J., Jefferson, I., & Spink, T.W. (eds.) Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 2009. 22. P. 33–48
17. *Marker B.R.* Urban planning: the geoscience input // Developments in Engineering Geology. Eggers M.J., Griffiths J.S., et al. (eds.), Geological Society, London. Engineering Geology Special Publication. 2016. 27. P. 35–43. <https://doi.org/10.1144/EGSP27.3>
18. *Mücella Ates.* The role of smart urban solutions on the way to smart territories: smart solutions to the problems of urbanization // Information Technology and Communication Authority, Turkey, 2020. P. 18. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2097-0.ch001>
19. *Paliaga G., Faccini F., Luino F., Turconi L.* A spatial multicriteria prioritizing approach for geohydrological

- risk mitigation planning in small and densely urbanized Mediterranean basins // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*  
<https://doi.org/10.5194/nhess-2018-100>
20. Price S.J., Ford J.R., Campbell S.D.G., Jefferson I. Urban futures: the sustainable management of the ground beneath cities // *Developments in Engineering Geology*. Eggers, M.J., Griffiths J.S., et al. (eds.), Geological Society, London. Engineering Geology Special Publication. 2016. 27. P. 19–33.  
<https://doi.org/10.1144/EGSP27.2>
21. Price S.J., Ford J.R., Cooper A.H., Neal C. Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground // *Philosophical Transactions of the Royal Society, A*. 2011. 369. P. 1056–1084.

## THE MAIN PRINCIPLES OF RISK ASSESSMENT IN URBANIZED AREAS

V. N. Burova<sup>#</sup>

*Sergeev Institute of Environmental Geosciences Russian Academy of Sciences, Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia*

<sup>#</sup>E-mail: [valentina\\_burova@mail.ru](mailto:valentina_burova@mail.ru)

Methodological approaches to assessing the risk for urbanized territories have been developed proceeding from the risk-formation models. They are caused by the interaction of natural and technogenic factors. Risk-formation models correspond to the final zoning taxon by these factors. The final zoning taxon has an alphanumeric code. Each factor is assigned a corresponding score based on expert evaluation. The integral score of the risk model results from the sum of scores of natural and technogenic factors and the sum of scores of all possible relationships between factors. Ranking by risk categories is based on matrices of possible combinations between natural and man-made factors and all their possible interactions. Seven main models of risk formation and 4 risk categories have been distinguished with the corresponding scores: low – less than 20, medium – 20–53, high – 54–85; and very high – more than 85. Based on the proposed risk assessment approaches, the Pokrovskoe–Streshnevo site within the North-Western administrative district of Moscow was mapped by risk categories. The results obtained can be recommended to city authorities for the development of programs for safe land-use and (or) development and reconstruction of the research area.

*Keywords: urbanized area, natural and technogenic factors, hazard recipients, risk models, risk assessment*

### REFERENCES

- Anopchenko, T.Yu., Murzin, A.D., Savon, D.Yu., Saffronov, A.E. *Analiz riskov razvitiya urbanizirovannykh territorii* [Risk analysis of urban area development]. *Ekonomika v promyshlennosti*, 2016, no. 3, 2016, pp. 202–208.  
DOI: 10.1707/2072-1663-2016-3-202-208. (in Russian)
- Burova, V.N. *Osobennosti raionirovaniya urbanizirovannykh territorii dlya otsenok riska ot opasnykh prirodnykh protsessov* [Specific features of zoning urbanized territories for assessing risk caused by natural hazards]. *Geoekologiya*, 2019, no. 6, pp. 106–111.  
DOI: 10.31857/S0869.780920196106.111. (in Russian)
- Kalmanova, V.B. *Geoekologicheskoe kartografirovaniye urbanizirovannykh territorii (na primere g. Birobidzhana)* [Geological mapping of urbanized territories (by the example of Birobidzhan)]. Proc. International Conference “InterKarto. InterGIS”. 2015, 21(1), pp. 566–574.  
DOI: 10.24057/2414-9179-2015-1-21-566-574 (in Russian).
- Kochurov, B.I., Ivashkina, I.V., Fomina, N.V., Lobkovskaya, L.G. *Printsipy i priemy razvitiya sovrremenno-goroda kak slozhnoi urboekosistemy* [Principles and methods of modern city development as a complex urboecosystem]. *Gradostroitel'stvo i planirovaniye sel'skikh naselennykh punktov*, 2018, no. 3, pp. 83–89.  
DOI: 10.24411/1816-1863-2018-13083. (in Russian)
- Kust, G.S., Andreeva, O.E., Lobkovskii, V.A., Kostowska, S.K. *Metodicheskie podkhody k razrabotke tipologii modelei ustoychivogo zemlepol'zovaniya* [Methodological approaches to developing a typology of sustainable land use models]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2019, no. 3, pp. 34–40.  
DOI: 10.24411/1816-1863-2019-13034/ (in Russian)
- Legget, R. *Goroda i geologiya* [Cities and geology]. Translated from English, Moscow, Mir, 1976, 559 pp. (in Russian)
- Lyubimova, T.V., Bondarenko, N.A., Stognii, V.V., Pogorelov, A.V. *Razrabotka nauchno-metodicheskikh osnov otsenki integral'nogo riska proyavleniya eksogennykh geologicheskikh protsessov na territorii Krasnodarskogo kraia* [Development of scientific and methodological bases for assessing the integral risk of exogenous geological processes in Krasnodar krai territory]. *Byulleten' nauki i praktiki* (Online journal), 2017, no. 11 (24), pp. 205–214. Accessed: <http://www.bulletennauki.com/lyubimova>. (in Russian)
- Novikov, A.A., Ignatov, E.I., Isaev, V.S., et al. Assessment of geoeological risks of urbanized coastal territories. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and ecogeodynamics of regions], 2018, vol. 4 (14), is. 4, pp. 100–108. (in Russian)
- Osipov, V.I., Burova, V.N., et al. *Karta krupnomasshtabnogo (deta'nogo) inzhenerno-geologicheskogo raionirovaniya territorii g. Moskvy* [Map of large-scale (detailed) engineering geological zoning of the Moscow territory]. *Geoekologiya*, 2011, no. 4, pp. 306–319. (in Russian)

10. Osipov, V.I., Eremina, O.N., Kozlyakova, I.V. *Otsenka ekzogenykh opasnostei i geologicheskogo riska na urbanizirovannykh territoriyakh (obzor zarubezhnogo opyta)* [Assessment of exogenous hazards and geological risk in urbanized territories (review of foreign experience)]. *Geoekologiya*, 2017, no. 3, pp. 3–15. (in Russian)
11. *Prirodnye opasnosti Rossii. Otsenka i upravlenie prirodnym riskom* [Natural hazards of Russia. Natural risk assessment and management]. Ragozin, A.L., Ed., Moscow, Kruk Publ., 2003. 320 p. (in Russian)
12. De Mulder, E.F.J., Pereira, J.J. Earth Science for the city. In: *Engineering geology for tomorrow's cities*. Culshaw M.G., Reeves H.J., Jefferson, I., & Spink, T.W., Eds. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 2009, 22, pp. 25–31. DOI: 10.1144/EGSP22.2
13. *Engineering geology for society and territory*. Lollino G., et al., Eds., vol. 5, Springer International Publishing, Switzerland, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-09048-1.
14. Legget, R.F. *Cities and geology*. New York, McGraw-Hill Book Co., 1973, 624 p.
15. Lei, M., Gao, Y., Jiang, X. Current status and strategic planning of sinkhole collapses in China. *Engineering geology for society and territory*. Lollino G. et al., Eds., vol. 5, Springer International Publishing, Switzerland. 2015, pp. 529–534.
16. Marker, B.R. Geology of megacities and urban areas. *Engineering geology for tomorrow's cities*. Culshaw, M.G., Reeves H.J., Jefferson, I., & Spink, T.W., Eds. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 2009, 22, pp. 33–48.
17. Marker, B.R. Urban planning: the geoscience input. *Developments in engineering geology*. Eggers M.J., Griffiths J.S., et al., Eds., Geological Society, London. Engineering Geology Special Publication. 2016. 27, pp. 35–43. DOI: DOI:10.1144/EGSP27.3
18. Mucella Ates. The role of smart urban solutions on the way to smart territories: smart solutions to the problems of urbanization. *Information technology and communication authority*, Turkey, 2020, pp. 18. DOI: 10.4018/978-1-7998-2097-0.ch001
19. Paliaga, G., Faccini, F., Luino, F., Turconi, L. A spatial multicriteria prioritizing approach for geohydrological risk mitigation planning in small and densely urbanized Mediterranean basins. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* DOI:10.5194/nhess-2018-100
20. Price, S.J., Ford, J.R., Campbell, S.D.G., Jefferson, I. Urban futures: the sustainable management of the ground beneath cities. *Developments in Engineering Geology*. Eggers, M.J., Griffiths J.S., et al., Eds., Geological Society, London. Engineering Geology Special Publication. 2016. 27, pp. 19–33. DOI:10.1144/EGSP27.2
21. Price, S.J., Ford, J.R., Cooper, A.H., Neal, C. Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground. *Philosophical Transactions of the Royal Society, A*, 369, 2011, pp. 1056–1084.