

**Строительные конструкции, здания и сооружения**

Научная статья

УДК 691

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/48-55>

В.Н. Макишин, И.И. Панарин, Р.С. Федюк

МАКИШИН ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., доцент, профессор отделения горного и нефтегазового дела Инженерного департамента Политехнического института, [makishin.vn@dvfu.ru](mailto:makishin.vn@dvfu.ru)

ПАНАРИН ИГОРЬ ИВАНОВИЧ – начальник кафедры Военного учебного центра, [panarin.ii@dvfu.ru](mailto:panarin.ii@dvfu.ru)

ФЕДЮК РОМАН СЕРГЕЕВИЧ – к.т.н., доцент, профессор Военного учебного центра, [fedyuk.rs@dvfu.ru](mailto:fedyuk.rs@dvfu.ru)

*Дальневосточный федеральный университет*

Владивосток, Россия

**Обеспечение повышения уровня защиты населения от внешних поражающих факторов**

**Аннотация:** Выполнена оценка состояния защиты населения от современных средств поражения. Изучена обеспеченность городов России с населением более 1 млн человек защитными сооружениями. Предложен метод районирования городских территорий с целью выявления подземных сооружений различного назначения для использования в целях защиты населения. Разработана методика, учитывающая фактическое состояние этих подземных сооружений и способы доведения их защитных свойств до уровня, соответствующего требованиям МЧС РФ. Показаны необходимость социально-экономической оценки принимаемых решений по подготовке подземных сооружений для их использования в качестве защитных и возможность развития на их основе подземных комплексов, обладающих функциями защиты населения на современном уровне.

**Ключевые слова:** защита населения, сооружения двойного назначения, поражающие факторы, размещение, районирование, социально-экономическая оценка

**Для цитирования:** Макишин В.Н., Панарин И.И., Федюк Р.С. Обеспечение повышения уровня защиты населения от внешних поражающих факторов // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2021. № 4(49). С. 48–55. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/48-55>

**Введение**

В российских городах проживают 75% населения страны, при этом каждый шестой россиянин живет в городе с населением более 1 млн человек, число которых достигло 16 и в ближайшем будущем может достичь 20 [3]. Кроме того, в России насчитывается 319 моногородов, образованных вокруг градообразующих предприятий (научных и производственных центров). Таким образом, Россию можно считать высокоурбанизированной страной. Резкое увеличение плотности населения промышленных, научных и административных районов в современных условиях делает их первоочередной целью в случае возникновения военного конфликта.

Вопросы эффективного применения городских подземных сооружений в качестве объектов двойного назначения изучены недостаточно. Необходима разработка научно-методических принципов подготовки таких подземных сооружений к их использованию в качестве объектов гражданской обороны (ГО).

Цель работы – разработка методов оценки подземного пространства городов с позиции повышения уровня защищенности населения.

Были решены следующие задачи:

- определено направление развития городских подземных сооружений с позиции применения в качестве защитных в различных горно-геологических условиях с учетом радиуса сбора укрываемых;

- на основе принципа районирования установлен способ выявления и оценки объектов городской подземной инфраструктуры в целях их подготовки для использования в качестве защитных.

### Состояние и исследование вопроса

Согласно данным аудиторской проверки Счетной палаты РФ в настоящее время на учете МЧС РФ находится 16270 подземных сооружений [2], учтенных в качестве объектов гражданской обороны (укрытий для населения). При этом 95% из них не готовы принять людей в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. Но даже те, что имеются, готовы принять не более 18% населения, в среднем 8,2%. В табл. 1 приведены данные городов-миллионников и уровень их обеспеченности объектами гражданской обороны.

Таблица 1

**Обеспеченность городов России с населением более 1 млн чел. защитными сооружениями по состоянию на 2021 год [1–3, 6, 10]**

Город	Население, млн чел.	Число защитных сооружений	Число укрываемых	Процент укрываемых
Москва	12,70	5–7 тыс.	1,5 млн	12
Санкт-Петербург	5,40	4012	1 млн.	18
Новосибирск	1,65	800	200 тыс.	12
Екатеринбург	1,50	1000	250 тыс.	17
Казань	1,30	345	118 тыс.	9
Нижний Новгород	1,25	505	199 208	16
Челябинск	1,20	430	180 тыс.	15
Самара	1,15	100	25 тыс.	2
Омск	1,15	12	3 тыс.	0,3
Ростов-на-Дону	1,15	15	4 тыс.	0,4
Уфа	1,15	300	113 тыс.	10
Красноярск	1,10	14	3787	0,3
Воронеж	1,05	677	68 тыс.	6
Пермь	1,05	250	50 тыс.	5
Волгоград	1,00	31	7 тыс.	0,7

В условиях современной войны защита от средств поражения осуществляется путем эвакуации и рассредоточения населения из вероятных районов ударов противника и размещения оставшихся в городах жителей в специально оборудованных убежищах. Такие убежища должны обеспечивать достаточную на нормативный период времени противоядерную, противорадиационную, противохимическую и противобактериальную защиту [13, 14]. Как правило, такие сооружения в целях повышения их защитных свойств располагают под землей.

В настоящий момент защитные подземные сооружения ГО характеризуются низким уровнем готовности и незначительным процентом укрываемого населения. Это предполагает необходимым поиск решений, направленных на повышение уровня защиты населения.

### Методика подготовки подземных сооружений для использования их в качестве защитных

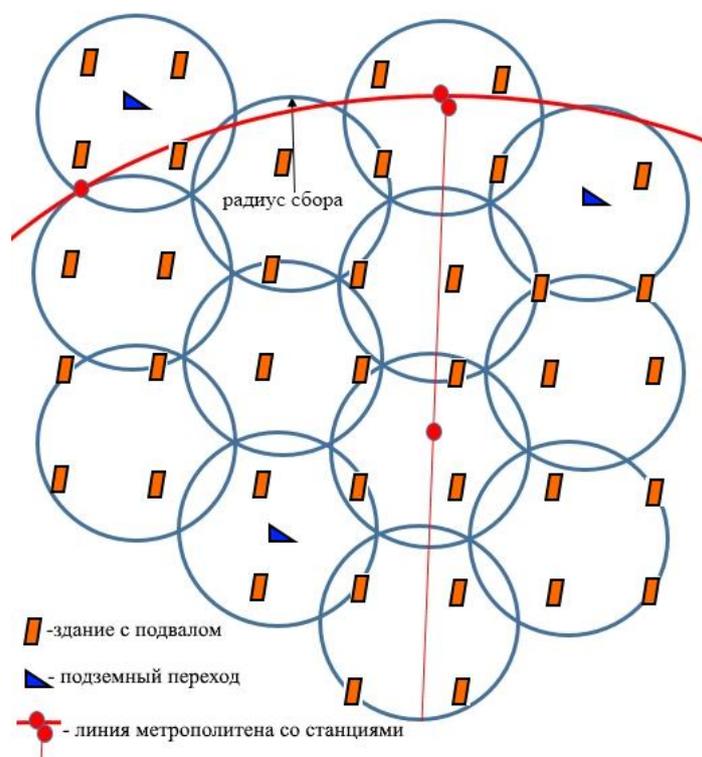
При оценке пригодности использования подземного сооружения в качестве защитного в первую очередь следует руководствоваться принципом *доступности* подземного объекта,

который во многом определяется расстоянием до него от места жительства, работы и т.д., а также возможностью оповещения населения.

Согласно статистике [8], плотность населения в современных мегаполисах составляет в среднем 4000 чел./км<sup>2</sup>. При этом площадь сбора оценивается в 0,78 км<sup>2</sup>. Исходя из этого условно можно принять, что защитные сооружения должны быть рассчитаны на вместимость до 3000 человек.

В случае возникновения чрезвычайной ситуации, помимо расстояния, значимым становится **временной фактор**. С учетом временного фактора нормативами ГО установлен критерий – радиус **сбора** населения, составляющий 500 м согласно СП 42.13330.2016 и СП 88.13330.2014.

На основании нормативно установленного критерия радиуса сбора и с учетом плотности населения возможно применение предложенного авторами **принципа районирования** городских территорий. На основе этого принципа могут быть определены места размещения людей, намечены маршруты эвакуационных путей в случае возникновения чрезвычайных ситуаций (рис. 1).



**Рис. 1. Принципиальная схема сети сбора населения для городских условий**

Следует отметить, что предлагаемая схема должна учитывать особенности застройки территории, т.е. не должна быть жесткой. Это частично учитывается при формировании зон пересечения областей сбора, составляющих около 15% площади города, в результате чего население, проживающее в таких районах, имеет возможность выбора убежища. Согласно СП 88.13330.2014 убежища должны располагаться в местах наибольшего сосредоточения укрываемых. В отдельных случаях, например для окраин жилых зон и пригородов, при отсутствии пригодных в непосредственной близости от жилья подземных сооружений радиус сбора может быть увеличен до 1000 м по согласованию с территориальными органами МЧС России.

Схема, выполненная в одном масштабе с планом жилого микрорайона, делового центра, промышленной территории, может быть наложена на такой план. Это позволит оценить возможности каждой из полученных зон. В частности, при изучении микрорайона «пр-т Красного Знамени – ул. Толстого» г. Владивосток на выбранной территории выявлены все подземные объекты, которые потенциально могут выполнять функции защитных (рис. 2).

В условиях города к таким объектам следует отнести подземные пешеходные переходы, автодорожные и железнодорожные тоннели, автостоянки, социально-культурные объекты (магазины, рестораны, музеи, складские помещения), цокольные этажи зданий и сооружений.

В промышленных районах следует принимать в расчет все подземные производственные, технологические и хозяйственные помещения, расположенные на расстоянии доступности для персонала.

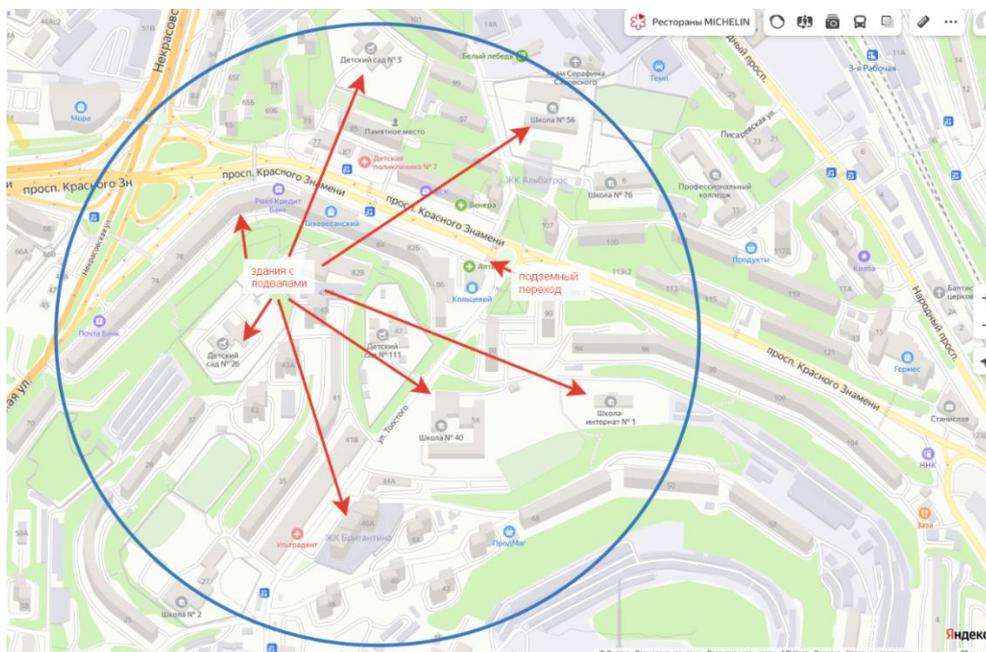


Рис. 2. Оценка наличия городских подземных сооружений в границах радиуса сбора

Пригодность использования выявленных подземных объектов в целях ГО следует оценить с точки зрения вместимости и обеспечения возможного уровня защищенности. Согласно СП 88.13330-2014 по числу укрываемых подземные сооружения разделяются на малые (до 150–400 чел.), средние (400–600 чел.) и большие (600–2000 чел.). По уровню защиты они подразделяются на простейшие укрытия, противорадиационные укрытия (ПРУ) и убежища. Очевидно, что далеко не все подземные сооружения могут быть подготовлены для их использования в качестве объектов гражданской обороны.

Следует учитывать месторасположение подземного объекта с учетом рельефа местности, его заглубленности во вмещающий массив горных пород или грунты. Технология возведения подземного объекта, частичная потеря несущей способности стен и перекрытий за период эксплуатации могут оказать существенное влияние на принятие решения о его реконструкции. Имеет значение функциональная направленность района (оборонно-промышленная, административная, жилая и др.), что определяет уровень вероятности того, что он может быть подвержен прямому воздействию поражающих факторов. Поэтому проектирование усиления несущих элементов строительных конструкций должно учитывать снижение влияния поражающих факторов с увеличением расстояния от предполагаемого эпицентра взрыва.

Результатом усиления несущих конструкций подземных сооружений, цокольных этажей зданий должно стать достижение прочностных характеристик, позволяющих выдерживать статические и динамические нагрузки, регламентированные нормативными требованиями к объектам гражданской обороны.

Основные направления усиления защитных свойств подземного сооружения:

1. Увеличение несущей конструкции стен.

Повышение несущей способности стен подземных сооружений, цокольных этажей (фундаментов) зданий целесообразно производить путем армирования с последующим нане-

сением набрызг-бетона. Толщина набрызг-бетона в зависимости от необходимой степени усиления может достигать 20 см, что позволяет обеспечить устойчивость подземного сооружения при действии на нее сейсмозрывной волны.

2. Изменение физико-механических свойств грунтов и пород, вмещающих подземное сооружение (тампонаж).

Сущность тампонажа заключается в создании в массиве горных пород или грунтах упрочненной зоны, способной противостоять внешнему давлению. Толщина этой зоны должна рассчитываться с учетом первоначальной несущей способности стен подземного сооружения и вида применяемых тампонажных растворов.

3. Комбинированный способ заключается в совместном использовании двух первых направлений.

**Основным критерием**, определяющим социально-экономическую целесообразность переоснащения подземного сооружения в объект двойного назначения, является предварительная оценка поражающего действия взрыва обычного и ядерного боеприпаса.

При принятии решения о производстве работ по реконструкции подземного сооружения также следует учитывать **временной фактор**, который при определенных условиях может стать решающим. В отдельных случаях дополнительно может потребоваться время на демонтаж оборудования и перепланировку подземного сооружения.

### **Оценка целесообразности подготовки городских подземных сооружений в целях защиты населения**

Современные города, как правило, обладают развитой подземной инфраструктурой, то есть обладают значительным потенциалом для повышения уровня защиты населения в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

К подземным сооружениям, потенциально возможным обеспечить защитные функции, относятся протяженные подземные пешеходные переходы, авто- и железнодорожные тоннели, подземные автостоянки и подземные социально-культурные объекты. Важнейшими элементами сети подземных сооружений крупных городов являются станции метрополитенов, которые изначально являются потенциальными защитными сооружениями после минимального дооснащения. Расстояния между станциями метрополитена в среднем принимаются из расчета 10-минутного пешеходного перехода. Фактически место расположения станций определяется городской застройкой, рельефом местности, взаимным расположением городских районов. В частности, для Москвы расстояние между станциями метро составляет от 0,5 до 6,6 км, в среднем 1,7 км [7].

В зонах авто- и железнодорожных вокзалов происходит совмещение пешеходных тоннелей с подземными подходными коридорами вокзалов и подземными вестибюлями станций метро, которые часто располагаются примерно в одних и тех же узловых пунктах и приблизительно на одних и тех же высотных отметках. Сооружение подземных переходов более целесообразно по сравнению с надземными пешеходными мостами, так как они обеспечивают меньшую высоту вынужденных подъемов и спусков, что особенно важно для пожилых людей. Следует также учитывать, что пешеходные эстакады часто не имеют защитных элементов от внешних климатических условий, ухудшают внешний облик городов и являются источником повышенной аварийности большегрузного транспорта в случае ограниченности их пролета по высоте. Кроме того, в ходе принятия решения о расширении автодороги потребуются капитальная реконструкция или полный демонтаж такого объекта.

Согласно градостроительным нормам [9] тоннельные пешеходные переходы, как правило, должны совмещаться с остановочными пунктами городского общественного транспорта. При этом среднее расстояние между остановками не должно превышать 300–400 м, между жилыми, общественными или промышленными зданиями с подвалами – 400–500 м. В остальных

районах городов расстояние между подземными пешеходными переходами не должно превышать 2 км. Подземные переходы рекомендуется также совмещать с системой автостоянок и гаражей большой вместимости, а также с другими объектами социальной сферы [4, 5]. Развитые в плане подземные переходы могут включать в себя различные объекты сферы обслуживания (торговые зоны мелких товаров повседневного потребления, театральные кассы, справочные бюро и др.).

Следует учитывать, что развитие подземной инфраструктуры городов приводит к слиянию отдельных подземных объектов в крупные подземные комплексы, что подтверждается опытом подземного строительства в Канаде, Сингапуре, Китае, Японии и других странах [11–18]. Торговые подземные комплексы созданы в Москве, Санкт-Петербурге и других крупных городах России.

Выявление, анализ подземной инфраструктуры в пределах установленных радиусов сбора и в целом городской территории, реконструкция пригодных для использования в защитных целях подземных сооружений и строительство новых с перспективой создания крупных подземных комплексов позволят существенно повысить уровень защищенности населения в случае возникновения критической ситуации.

### Выводы

Обоснована целесообразность выявления и подготовки городских подземных сооружений различного типа для использования их в качестве объектов двойного назначения.

Разработана принципиальная схема расположения подземных убежищ на территории города. Наложение этой схемы с соблюдением масштабов на план города позволяет предварительно оценить степень готовности населенного пункта к защите населения.

Предлагаемая методика позволит применять метод районирования городских территорий по критерию радиуса сбора, выявлять подземные объекты, оценивать их пригодность, способы приведения их состояния до уровня, отвечающего требованиям ГО, а также их социально-экономическую целесообразность.

Показана возможность формирования и развития единого подземного комплекса с учетом формирования функций защиты городского населения в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Вклад авторов в статью: В.Н. Макишин – общее руководство, научное консультирование, формулирование цели, задач и выводов, работа с текстом статьи, основной вклад в ее написание; И.И. Панарин – изучение степени разработанности темы, работа с текстом статьи; Р.С. Федюк – создание схем, написание и оформление статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов А. В Казани имеется 345 защитных сооружений // Казанские ведомости. URL: <https://kazved.ru/news/v-kazani-imeetsya-345-zaschitnyh-sooruzheniy> (дата обращения: 16.10.2021).
2. Где в Ростове есть бомбоубежища в рабочем состоянии. URL: <https://big-rostov.ru/eto-interesno/gde-v-rostove-est-bomboubezishha-v-rabochem-sostoyanii/> (дата обращения: 16.10.2021).
3. Где уральцам прятаться от американских бомб? URL: <https://ura.news/articles/1036269182> (дата обращения: 16.10.2021).
4. Конюхов Д.С. Использование подземного пространства. М.: Архитектура-С, 2004. 296 с.
5. Котляревский В.А., Ганушкин В.И., Костин А.А., Костин А.И., Ларионов В.И. Убежища гражданской обороны: Конструкции и расчет. М.: Стройиздат, 1989. 605 с.
6. Медведева Е. Пайки и кислород: как выглядят современные бомбоубежища. URL: <https://info.sibnet.ru/article/547928/> (дата обращения: 16.10.2021).
7. Московское метро. URL: [https://ru.abcdef.wiki/wiki/Moscow\\_Metro](https://ru.abcdef.wiki/wiki/Moscow_Metro) (дата обращения: 16.10.2021).
8. Освоение подземного пространства. Подземные пешеходные переходы. Требования к проектированию, строительству, контролю качества и приемке работ. Стандарт организации «Национальное объединение строителей». Проект. М.: БСТ, 2014. 67 с.

9. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С. Вопросы расчета и конструирования специальных сооружений. М.: Стройиздат, 1980. 190 с.
10. Шкода Д. Более 500 убежищ насчитывается в Нижнем Новгороде. URL: [https://www.vremyan.ru/news/bolee\\_500\\_ubezhicsh\\_naschityvaetsja\\_v\\_nizhnem\\_novgorode.html](https://www.vremyan.ru/news/bolee_500_ubezhicsh_naschityvaetsja_v_nizhnem_novgorode.html) (дата обращения: 16.10.2021).
11. Chen Z., Jia P. Seismic response of underground stations with friction pendulum bearings under horizontal and vertical ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2021;(151):106984. doi:10.1016/j.soildyn.2021.106984
12. Dong X., Wu Y., Chen X., Li H., Cao B., Zhang X., Yan X., Li Z., Long Y., Li X. Effect of thermal, acoustic, and lighting environment in underground space on human comfort and work efficiency: A review. *Science of The Total Environment*. 2021;(786):147537. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147537
13. Fan H., Li T., Gao Y., Deng K., Wu H. Characteristics inversion of underground goaf based on InSAR techniques and PIM. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2021;(103):102526. doi:10.1016/j.jag.2021.102526
14. Guo D., Chen Y., Yang J., Tan Y.H., Zhang C., Chen Z. Planning and application of underground logistics systems in new cities and districts in China. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021;(113):103947. doi:10.1016/j.tust.2021.103947
15. Hebbal D., Marif Y., Hamdani M., Belhaj M.M., Bouguettaia H., Bechki D. The geothermal potential of underground buildings in hot climates: Case of Southern Algeria. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2021;(28):101422. doi:10.1016/j.csite.2021.101422
16. Lee B., Wang S.-Y., Lin T.-C., Chang H.-H. Underground pipeline explosions and housing prices: Quasi-experimental evidence from an urban city. *Land Use Policy*. 2021;(111):105782. doi:10.1016/j.landusepol.2021.105782
17. Li W., Wu Y., Choguill C.L., Lai S.-K., Luo J. Underground Hangzhou: The challenge of safety vs. commerciality in a major Chinese city. *Cities*. 2021;(119):103414. doi:10.1016/j.cities.2021.103414
18. Liu S.-C., Peng F.-L., Qiao Y.-K., Zhang J.-B. Evaluating disaster prevention benefits of underground space from the perspective of urban resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2021;(58):102206. doi:10.1016/j.ijdr.2021.102206

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2021. N 4/49

*Buildings and Structures*[www.dvfu.ru/en/vestnikis](http://www.dvfu.ru/en/vestnikis)

Original article

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/48-55>

Makishin V., Panarin I., Fediuk R.

VALERY N. MAKISHIN, Doctor of Engineering Sciences, Professor, [makishin.vn@dvfu.ru](mailto:makishin.vn@dvfu.ru)IGOR I. PANARIN, Head of Department, Military Training Center, [panarin.ii@dvfu.ru](mailto:panarin.ii@dvfu.ru)ROMAN S. FEDIUK, Candidate of Engineering Sciences, Professor, [fedyuk.rs@dvfu.ru](mailto:fedyuk.rs@dvfu.ru), <http://orcid.org/0000-0002-2279-1240>*Far Eastern Federal University*

Vladivostok, Russia

### Provision of the level of the population protection from external damaging factors

**Abstract:** The modern stage in the development of civilization requires the creation of conditions for protection from natural and manmade influences. The provision of cities with a population more than 1 million people with protective structures has been studied. Assessment of the level of the population protection from external damaging factors is possible taking into account the principle of zoning of urban areas, identifying underground structures for population protection. The method was developed for evaluation its technical state and methods of increasing its protective properties corresponding to requirements of Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief of the Russian Federation. Taking into account the collection radius, a schematic diagram of the location of underground shelters in the city was developed. The imposition of this scheme in compliance with the scale on the city plan allows one to preliminarily assess the degree of readiness of the settlement for the protection of the population.

*Keywords:* external damaging factor, protection of the population, dual-purpose structures, location analysis of objects

**For citation:** Makishin V., Panarin I., Fediuk R. Provision of the level of the population protection from external damaging factors. FEFU: School of Engineering Bulletin. 2021;(49):48-55. (In Russ.). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/48-55>

Contribution of the authors: V. Makishin – supervision, consulting, formulation of objectives and conclusions; I. Panarin – review of problem; R. Fediuk – development of schemas, writing the text.

The authors declare no conflicts of interests.

## REFERENCES

1. Borisov A. There are 345 protective structures in Kazan. URL: <https://kazan-bezformata.com/list-news/imeetsya-345-zashitnih-sooruzhenij/72787110/> – 16.10.2021.
2. Where in Rostov there are bomb shelters in working order. URL: <https://big-rostov.ru/eto-interesno/gde-v-rostove-est-bomboubezhishha-v-rabochem-sostoyanii/> – 16.10.2021.
3. Where can the Urals hide from American bombs? URL: <https://ura.news/articles/1036269182> – 16.10.2021.
4. Konyukhov D.S. Use of underground space. Moscow, Architecture-S, 2004. 296 p.
5. Kotlyarevsky V.A., Ganushkin V.I., Kostin A.A., Kostin A.I., Larionov V.I. Civil defense shelters designs and calculations. Moscow, Stroyizdat, 1989. 605 p.
6. Medvedeva E. Brazing and oxygen: what modern bomb shelters look like. URL: <https://info.sibnet.ru/article/547928/> – 16.10.2021.
7. Moscow metro. URL: [https://ru.abcdef.wiki/wiki/Moscow\\_Metro](https://ru.abcdef.wiki/wiki/Moscow_Metro) – 16.10.2021.
8. Development of underground space. Underground pedestrian crossings. Requirements for design, construction, quality control and acceptance of works. Organization standard "NOSTROY". Project. Moscow, BST, 2014. 67 p.
9. Popov N.N., Rastorguev B.S. Calculation and design of special structures. Moscow, Stroyizdat, 1980. 190 p.
10. Shkoda D. There are more than 500 shelters in Nizhny Novgorod. URL: [https://www.vremyan.ru/news/bole\\_500\\_ubezhichsh\\_naschityvaetsja\\_v\\_nizhnem\\_novgorode.html](https://www.vremyan.ru/news/bole_500_ubezhichsh_naschityvaetsja_v_nizhnem_novgorode.html) – 16.10.2021.
11. Chen Z., Jia P. Seismic response of underground stations with friction pendulum bearings under horizontal and vertical ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2021;(151):106984. doi:10.1016/j.soildyn.2021.106984
12. Dong X., Wu Y., Chen X., Li H., Cao B., Zhang X., Yan X., Li Z., Long Y., Li X. Effect of thermal, acoustic, and lighting environment in underground space on human comfort and work efficiency: A review. *Science of The Total Environment*. 2021;(786):147537. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147537
13. Fan H., Li T., Gao Y., Deng K., Wu H. Characteristics inversion of underground goaf based on InSAR techniques and PIM. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2021;(103):102526. doi:10.1016/j.jag.2021.102526
14. Guo D., Chen Y., Yang J., Tan Y.H., Zhang C., Chen Z. Planning and application of underground logistics systems in new cities and districts in China. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021;(113):103947. doi:10.1016/j.tust.2021.103947
15. Hebbal D., Marif Y., Hamdani M., Belhaj M.M., Bouguettaia H., Bechki D. The geothermal potential of underground buildings in hot climates: Case of Southern Algeria. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2021;(28):101422. doi:10.1016/j.csite.2021.101422
16. Lee B., Wang S.-Y., Lin T.-C., Chang H.-H. Underground pipeline explosions and housing prices: Quasi-experimental evidence from an urban city. *Land Use Policy*. 2021;(111):105782. doi:10.1016/j.landusepol.2021.105782
17. Li W., Wu Y., Choguill C.L., Lai S.-K., Luo J. Underground Hangzhou: The challenge of safety vs. commerciality in a major Chinese city. *Cities*. 2021;(119):103414. doi:10.1016/j.cities.2021.103414
18. Liu S.-C., Peng F.-L., Qiao Y.-K., Zhang J.-B. Evaluating disaster prevention benefits of underground space from the perspective of urban resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2021;(58):102206. doi:10.1016/j.ijdr.2021.102206