

УДК 69.035.4

Н. В. Коростелева, А. В. Ламсков

Волгоградский государственный технический университет

ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОЛГОГРАДА)

В связи с дефицитом территориального ресурса в городах и усилением экологических проблем актуальным стал вопрос освоения подземного городского пространства. Мировой опыт градостроительства показывает, что на современном этапе стратегия решения сложных социально-экономических, экологических и градостроительных задач реализуется путем формирования пространственной структуры города, представляющей собой многоуровневый и многофункциональный город с максимальным вертикальным развитием за счет комбинированного использования подземного пространства в едином градостроительном плане, интегрированном в общий план развития города. В статье определено положительное влияние подземного строительства на развитие урбанизированных территорий. На основе сравнительного анализа мирового опыта выявлены основные причины, сдерживающие развитие подземного строительства в России. Рассмотрены перспективы внедрения подземного строительства в градостроительную практику Волгограда. Даны рекомендации по наиболее подходящим направлениям освоения подземного пространства города.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подземное строительство, объекты подземного строительства, подземное пространство, подземные коммуникации, качество городской среды.

В период стремительно развивающегося процесса урбанизации многие крупные города столкнулись с проблемой территориального дефицита для своего расширения [1—3]. Для решения данной проблемы необходимо разрабатывать и внедрять в градостроительную практику концепцию комплексного развития территориального пространства. Данная концепция подразумевает, что, помимо дневной поверхности города, необходимо осваивать и подземный ресурс.

Данная работа направлена на изучение возможностей использования подземных пространств Волгограда в рамках градостроительной политики. Это необходимо для создания благоприятных условий жизни и обеспечения сбалансированного развития города в долгосрочной перспективе. Для достижения поставленной *цели* решены следующие *задачи*:

- определено положительное влияние подземного строительства на развитие урбанизированных территорий;
- изучены мировые тенденции в области подземного градостроительства;
- обоснована необходимость строительства, определено функциональное назначение подземных сооружений в Волгограде;
- разработаны рекомендации по развитию подземного пространства Волгограда.

Предметом исследования являются факторы, обуславливающие потенциальные возможности использования подземного пространства города для обеспечения оптимального качества городской среды.

В качестве *инструмента исследования* использован метод системного анализа.

Основной целью социально-экономического развития России является повышение качества жизни населения. На сегодняшний день большая часть населения сконцентрирована в городах (более 75 % по данным всероссийской переписи), и создание комфортной городской среды можно назвать одним из важных факторов для достижения поставленной цели [4—8].

Комфортная городская среда — это среда, которая создает удобные, безопасные и благоприятные условия для жизни, работы и отдыха горожан. К основным характеристикам комфортной городской среды можно отнести:

- доступность и удобство — легкий доступ населения к важным социальным, культурным, торговым и транспортным объектам, а также к местам отдыха и досуга;
- безопасность — наличие продуманной системы безопасности для пешеходов и автомобилистов, включая качественное освещение, пешеходные зоны, контролируемые перекрестки и видеонаблюдение;
- экологичность — многочисленные зеленые зоны, парки, скверы, чистый воздух, минимизация загрязнений и шумового фона;
- эстетика и планирование — приятная визуальная среда, гармоничная архитектура, удобная и функциональная инфраструктура;
- инклюзивность — доступность для людей с ограниченными возможностями, развитие безбарьерной среды;
- социальные связи и общественные пространства — наличие мест для общения, культурных мероприятий и общественных инициатив.

Для обеспечения данных параметров в современных городах часто не хватает территориального ресурса, поэтому повышается актуальность освоения подземного городского пространства. Подземное строительство становится важным аспектом по нескольким причинам:

1. Рациональное использование ограниченной городской территории — освобождение наземных пространств для общественных нужд (зеленых зон, парков, пешеходных зон) за счет переноса инфраструктурных и функциональных объектов под землю. Данный фактор позволяет поддерживать комфортные условия городской среды при увеличении численности населения и территориальном дефиците [9, 10].

2. Разгрузка транспортной системы — перенос транспортных коммуникаций (тоннели и парковки) под землю решает сразу несколько проблем. Во-первых, отпадает потребность в территориальном ресурсе для расширения существующих и строительства новых коммуникаций, что позволяет увеличить транспортный поток, снизить экологическую нагрузку на прилегающие территории и расположить объект в требуемом месте. Во-вторых, использование подземных видов транспорта (метро, подземный скоростной трамвай) позволяет улучшить транспортную доступность и увеличить провозную способность городского транспорта.

3. Улучшение экологической ситуации — создание дополнительных зеленых зон на поверхности и снижение уровня загрязнения воздуха за счет изоляции транспортной инфраструктуры — одного из самых серьезных источников загрязнения городской среды.

4. Создание многофункциональных объектов на ограниченном пространстве — развитие подземных общественных и коммерческих объектов (торговых

центров, культурных учреждений) делает городскую инфраструктуру многоуровневой, функциональной и доступной.

Выделенные положения наглядно подтверждаются примерами мирового подземного строительства. Опыт Японии и Сингапура хорошо демонстрирует решение проблемы нехватки территориального ресурса при значительной численности населения.

В Японии территориальный дефицит становится серьезным вызовом, особенно с учетом роста урбанизации и необходимости обеспечения комфортных условий жителям страны. В условиях ограниченного пространства традиционные методы расширения населенных мест, такие как расширение территориальных границ городов или использования застройки повышенной этажности, практически исчерпали свой ресурс. Поэтому в стране активно развиваются подземные проекты. Еще в 1990-е гг. под территорией Токио начали формироваться так называемые подземные районы, представляющие собой обширные комплексы объектов индустрии услуг и связи. Кроме этого, данные районы очень хорошо связаны между собой подземными транспортными коммуникациями. Одним из самых известных является район «Яэсу», расположенный под центральным вокзалом и имеющим площадь порядка 70 тыс. м² (рис. 1). На его территории сосредоточено большое количество магазинов, объектов питания, бытового обслуживания и хранения автомобилей. Ежедневно его посещают порядка 300 тыс. чел. [11—13].



Рис. 1. Торговый комплекс «Яэсу», Токио, Япония

Если говорить о Сингапуре, то это город-государство с достаточно ограниченной территорией и высокой плотностью населения (более 8 тыс. чел. на км²). Он известен своим высоким уровнем жизни, развитой инфраструктурой и эффективным городским планированием, что позволяет поддерживать комфортную жизнь для его жителей. Одним из важных факторов, позволивших обеспечить такие условия, является активное освоение подземных пространств. Под землю, помимо стандартных объектов транс-

портной инфраструктуры, культурно-бытового обслуживания и торговли, планируется переместить и объекты научно-исследовательской направленности. Например, проект Underground Science City (рис. 2), который планируется реализовать в районе парка Кент-Ридж в западном Сингапуре. Он будет состоять из 40 взаимосвязанных объектов, где разместят дата-центры, исследовательские лаборатории и технические помещения. Там планируется пребывание более 4 тыс. научных сотрудников и вспомогательного персонала. Площадь объекта составит 300 тыс. км², глубина заложения будет варьироваться в диапазоне от –30 до –80 м от уровня земной поверхности.



Рис. 2. Проект Underground Science City, Сингапур

Помимо решения территориальных проблем, подземное строительство весьма перспективно в странах со сложными климатическими условиями. Это подтверждается подземным строительством в Канаде и Финляндии.

В Канаде самым освоенным в плане подземного пространства можно назвать Монреаль. Один из самых старых городов страны известен своим обширным подземным городом площадью около 18 млн м², включающим транспортную и пешеходную инфраструктуру, торговые, развлекательные и общественные пространства. Ежедневно их посещают до полумиллиона людей. Его привлекательность вызвана не только обширным перечнем объектов и услуг, но и возможностью перемещаться по территории города, не испытывая неблагоприятные погодные условия на поверхности.

Главной жемчужиной этого подземного пространства несомненно является его значительная пешеходная зона — Réseau Pitonnier Souterrain (RESO), протяженностью 32 км (рис. 3). Она соединяет подземные части крупнейших торговых центров города, таких как Complexe Les Ailes, Centre Eaton, Bay Fashion Liquidation Centre, Les Cours Mont-Royal, Promenades de la Cathedrale

и выходит на 10 станций метро. Благодаря атриумам в самих зданиях, на подземные этажи поступает не только искусственное, но и естественное солнечное освещение, что снижает эффект «подземности».

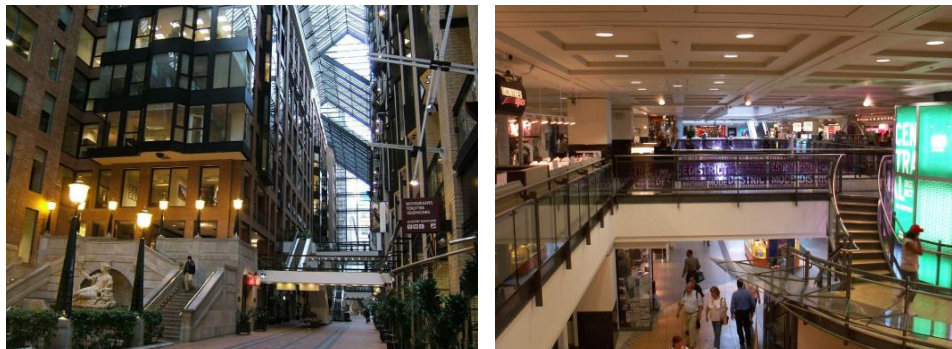


Рис. 3. Пешеходная зона RESO, Монреаль, Канада

Суровые зимы с низкими температурами и обильными снегопадами создают определенные трудности для комфортной жизни и функционирования городской инфраструктуры в Финляндии. Решить данную проблему позволяет размещение части городских объектов в подземном пространстве. Наиболее ярким примером грамотного использования подземного пространства является г. Хельсинки со своим «Городом под городом», представляющим обширную сеть подземных сооружений и тоннелей под центральной частью столицы (рис. 4). Система включает 380 тоннелей, оснащенных системами отопления, водоснабжения и электричества, по ним можно передвигаться как пешком, так и на автомобиле. Туннельная сеть объединяет торговые зоны, станции метрополитена, автомобильные парковки. Некоторые тоннели связаны с подземной системой, используемой исключительно военными, и ведут на остров, где расположено военное подразделение, отвечающее за оборону Хельсинки [14—16].

К ключевым особенностям «Города под городом» можно отнести:

- масштабы — общая площадь подземных помещений составляет более 10 млн м², сеть тоннелей и коридоров имеет протяженность порядка 200 км, глубина залегания некоторых объектов составляет –80 м;
- разнообразие функций — в подземном комплексе располагаются паркинги (вместимостью до 4000 автомобилей), спортивные объекты (бассейн, ледовый каток и тренажерные залы), магазины, объекты общепита и складские помещения;
- интеграция в городскую инфраструктуру — данное пространство связано с метрополитеном и центральным железнодорожным вокзалом Хельсинки. Кроме этого, многие административные здания и торговые центры, расположенные на городской территории, имеют прямой доступ к подземным сооружениям;
- безопасность и комфорт — объекты оборудованы современными системами вентиляции, пожаротушения и видеонаблюдения. Многие тоннели и коридоры имеют естественное освещение через световые колодцы и атриумы. В комплексе поддерживается постоянная температура около 18 °С;

- перспективы развития: планируется строительство новых подземных объектов, в т. ч. дата-центров и научных лабораторий; рассматривается возможность создания подземных теплиц для выращивания растений; ведутся исследования по использованию геотермальной энергии для отопления и охлаждения помещений.

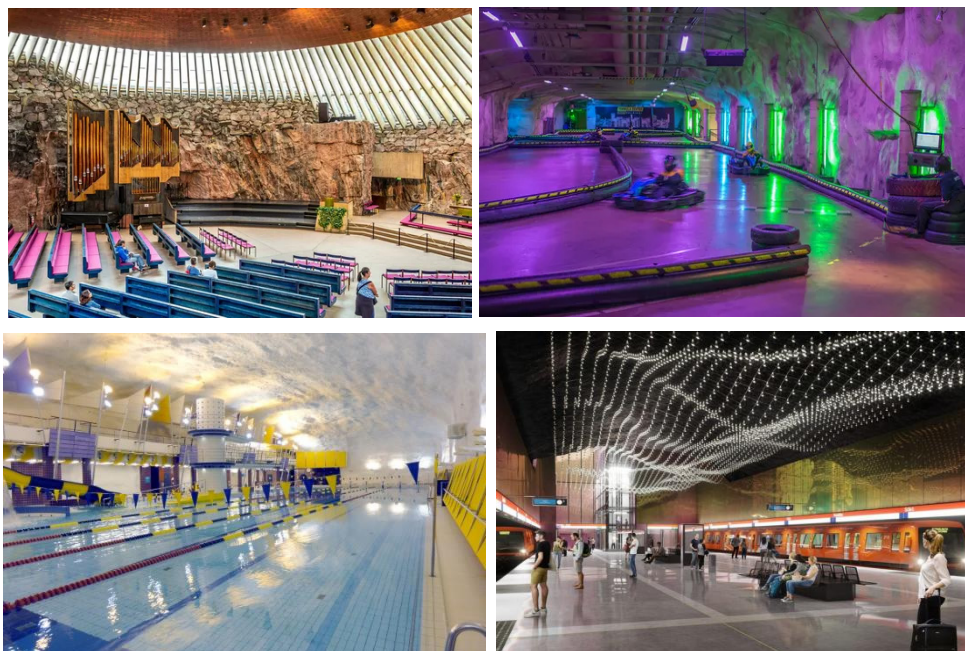


Рис. 4. Подземный город, Хельсинки, Финляндия

Для части населенных мест РФ присущи похожие проблемы территориального дефицита и сложных климатических условий.

Например, Москва и Санкт-Петербург, будучи крупнейшими мегаполисами России, сталкиваются с серьезными проблемами в сфере транспорта, экологии и нехватки территорий. Несмотря на достаточно развитое подземное строительство в этих городах, сегодня можно выделить целый ряд проблем в освоении подземного пространства [17—19]:

- существующие подземные сооружения, как правило, функционируют изолированно друг от друга;
- темпы развитие сети подземных тоннелей и метрополитена не успевают за потребностями города;
- обеспеченность подземными пешеходными переходами едва достигает 40 % от необходимого количества;
- неравномерность освоения подземного пространства города в целом снижает эффективность проектов.

На сегодня российские города отстают в освоении подземного пространства по сравнению с зарубежными городами-лидерами. Проблемами являются хаотичная стройка подземных объектов, недостаточные капиталовложения, сложные инженерно-геологические условия и отсутствие комплексной схемы освоения подземных территорий городов. Пока нельзя выделить особенности

освоения подземного пространства, но в будущем, при наличии подземных генеральных планов и использовании передовых технологий, наши города могут встать на одну ступень с мировыми лидерами в развитии подземной инфраструктуры.

Что касается Волгограда, то в качестве основных предпосылок для освоения подземного пространства можно обозначить несколько факторов:

- транспортные проблемы и необходимость разгрузки транспортной сети города. Протяженность города вдоль Волги и ограниченные возможности расширения дорожной сети делают подземные транспортные коммуникации и сооружения стратегически важными. Например, расширением и модернизацией подземного скоростного трамвая (частично проходит под землей) можно существенно повысить пропускную способность общественного транспорта, разгрузить дороги и улучшить мобильность горожан [20, 21].

Кроме того, подземные паркинги и транспортные тоннели могут помочь решить проблему перегруженности наземных улиц автомобилями, что особенно актуально для центральных районов города;

- сохранение исторического облика и рациональное использование наземного пространства. Волгоград — город с уникальной историей, связанной с Великой Отечественной войной, и значительное количество памятников требует бережного отношения. Строительство подземных сооружений позволит избежать чрезмерной перегруженности застройкой в исторических районах, сохранить их архитектурную и культурную ценность. Это особенно важно для таких исторических мест, как Площадь Павших Борцов, Мамаев курган и др.

Кроме того, освобождение наземных территорий от инфраструктурных объектов, таких как парковки или транспортные узлы, позволяет использовать их для создания общественных пространств, парков, культурных объектов и площадок для отдыха;

- улучшение экологической обстановки — как и другие крупные города, Волгоград сталкивается с экологическими проблемами, связанными с загрязнением воздуха и нехваткой зеленых зон. Перенос транспортной инфраструктуры и других объектов под землю позволит снизить количество выбросов от автомобилей и освободить место для новых парков и скверов, что улучшит экологическую ситуацию в городе;

- развитие коммерческой и социальной инфраструктуры. Подземные торговые центры, переходы и многофункциональные комплексы могут стать важным элементом городской инфраструктуры. Это позволит не только экономить место на поверхности, но и создать новые рабочие места и возможности для бизнеса. В условиях плотной застройки центральных районов Волгограда подземные площади могут стать эффективным способом расширения коммерческой инфраструктуры;

- повышение устойчивости к климатическим условиям. Климат Волгограда характеризуется жарким летом и холодной зимой. Подземные пространства могут предоставлять комфортные условия для работы и пребывания людей в любое время года благодаря стабильной температуре под землей. Это особенно актуально для мест массового скопления людей — торговых центров, транспортных узлов, общественных объектов;

- безопасность и защита от чрезвычайных ситуаций. Подземные сооружения могут играть важную роль в обеспечении безопасности граждан в случае чрезвычайных ситуаций — природных катастроф или техногенных аварий. В Волгограде, как городе с высокой исторической и стратегической значимостью, создание многофункциональных подземных укрытий и убежищ может стать важным элементом повышения безопасности горожан.

Заключение

Таким образом, развитие подземного пространства Волгограда — комплексная задача, требующая детальной проработки и учета множества факторов. Для ее эффективной реализации необходимо уделить внимание проработке следующих аспектов:

1. Создание концепции развития подземного пространства. Необходимо на основе комплексного анализа текущей ситуации разработать долгосрочную стратегию освоения подземного пространства с учетом перспектив развития Волгограда.

2. Оптимизация транспортной инфраструктуры города:

- строительство линий метрополитена или скоростного трамвая для связи отдаленных районов города и разгрузки наземного транспорта;
- создание многоуровневых пересадочных узлов и транспортно-пересадочных комплексов с использованием подземного пространства для удобства пассажиров;
- развитие подземных пешеходных переходов и зон, особенно в местах с интенсивным движением;
- строительство подземных многоуровневых паркингов и гаражей в центральной части города и районах с плотной застройкой.

3. Модернизация сферы услуг и торговли — создание подземных торговых центров и магазинов, особенно в центре города и местах с высоким пешеходным трафиком, развитие подземных предприятий сферы услуг (кафе, рестораны, салоны красоты и т. д.).

4. Трансформация инженерных коммуникаций — перенос под землю электрических и телекоммуникационных сетей, водопровода, канализации и других коммуникаций, создание единой системы управления и мониторинга.

5. Оптимизация общественных пространств:

- строительство подземных культурных и развлекательных центров, музеев, выставочных залов;
- создание подземных спортивных объектов и зон отдыха;
- развитие подземных общественных пространств, соединенных с наземной городской средой.

6. Обеспечение безопасности и защита городской территории:

- строительство современных подземных убежищ и защитных сооружений на случай чрезвычайных ситуаций;
- обеспечение безопасности и надежности подземных объектов с учетом рисков (пожары, обрушения, затопления и т. д.).

7. Актуализация и разработка нормативно-правовой базы с последующим контролем за ее исполнением:

- разработка местных нормативов и правил проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений;

- создание специального органа для координации и управления развитием подземного пространства.

8. Инвестиции и финансирование:

- привлечение инвестиций из федерального и регионального бюджетов, от частных инвесторов;
- разработка механизмов государственно-частного партнерства для реализации проектов подземного строительства.

9. Информирование и вовлечение общественности — проведение информационно-образовательных кампаний для популяризации идеи развития подземного пространства среди горожан.

Переосмысление роли подземных пространств в градостроительной политике Волгограда является необходимым шагом для достижения целей устойчивого развития и формирования комфортной городской среды. Учитывая существующие проблемы, неиспользованный потенциал и мировой опыт, Волгоград имеет возможности для эффективного использования подземного пространства и создания уникального и привлекательного городского ландшафта.

Дальнейшие исследования предполагается направить на:

- анализ состояния подземных пространств Волгограда;
- разработку конкретных проектов и предложений по использованию подземного пространства;
- оценку экономической эффективности и социальных последствий реализации таких проектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чистобаев А. И., Висленева О. А. Градостроительное освоение территорий городских округов России: опыт, проблемы, решения // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2014. № 1. С. 159—166.
2. Трушко В. Л., Шайдулов Г. Я., Шайдулова Н. В. Подземная урбанизация — стратегическое направление развития мегаполисов // Записки Горного института. 2016. Т. 221. С. 714—720.
3. Кириченко Г. О. Долины малых рек как ресурс территориального развития Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 34(53). С. 161—164.
4. Геложина Л. М. Комфортная городская среда: понятие и роль общественного участия в развитии городской среды // Экономика и социум. 2021. № 9(88). С. 325—329.
5. Петрова В. В., Харькова О. М. Проектный подход к формированию комфортной городской среды в России // Вестник науки. 2024. № 4(73). С. 300—310.
6. Мецереякова Н. А. Мировой опыт применения индексов для оценки городской среды // Baikal Research Journal. 2024. № 1. С. 163—172.
7. Павозков Д. В. Роль строительства в формировании устойчивых и инновационных городских сред // Вестник науки. 2024. № 2(71). С. 652—654.
8. Rastyapina O. A., Korosteleva N. V. Assessment of Urbanized Area Architectural Environment // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies. 2018. Vol. 463. Pp. 1—6. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/2/022010/pdf>.
9. Подземные сооружения — способ рационального использования земельных ресурсов / А. И. Быков, Г. И. Быкова, Н. Н. Коршунова, А. А. Быков, О. А. Державина // Инновации и инвестиции. 2021. № 3. С. 239—249.
10. Bobylev N. Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use // Land Use Policy. 2009. Vol. 26. Iss. 4. Pp. 1128—1137.
11. Akihiko M. The Current Aspects and Future Trend of Geo-Space Utilization // Journal of The Society of Instrument and Control Engineers. 1994. Vol. 33. Iss. 12. Pp. 995—1002.
12. Keiichi T., Kensaku K., Ryo O., Kazuya I. Inundation analysis of complicated underground space // Proceedings of hydraulic engineering. 2003. Vol. 47. Pp 877—882.

13. Akane I., Yumiko I., Norikazu Sh. Perceptual maps for shape and color desing of underground space // Journal of Japan Society of Civil Engineers. Ser. F2 (Underground Space Research). 2016. Vol. 72. Iss. 1. Pp. 1—12.
14. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014. No. 6. Pp. 387—398.
15. Vähäaho I. Urban underground space. Helsinki, Real Estate. Department, Geotechnical Division, 2014.
16. Vähäaho I., Korpi J., Anttikoski U. Use of Underground Space and Geo-Information in Helsinki // World Tunnel Congress and 13th ITA Assembly. 2004. URL: http://www.researchgate.net/publication/267786885_Use_of_Underground_Space_and_Geo-Information_in_Helsinki.
17. Корчак А. В. Проблемы, направления и пути решения задач освоения подземного пространства мегаполисов // ГИАБ. 2014. № 5. С. 89—98
18. Освоение подземного пространства Москвы на современном этапе: тенденции, проблемы, перспективы / А. Н. Левченко, В. Е. Меркин, М. Г. Зерцалов, Д. С. Конюхов, Л. В. Маковский // Основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных мегаполисов: тр. междуна-род. науч.-техн. конф. М. : РИЦ Тоннельной ассоциации России, 2011.
19. Телichenko В. И., Зерцалов М. Г., Конюхов Д. С. Состояние и перспективы освоения подземного пространства г. Москвы // Вестник МГСУ. 2010. № 4-4. С. 24—36.
20. Коростелева Н. В. Анализ степени влияния различных факторов на уровень шума городских магистралей // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : мат. междуна-род. конф., посвящ. 60-летию образования вуза. 2012. Ч. 1. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. С. 190—194.
21. Коростелева Н. В. Анализ основных транспортных проблем Волгограда и пути их решения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного универси-тета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 158—168.

© Коростелева Н. В., Ламсков А. В., 2025

Поступила в редакцию
20.02.2025

Ссылка для цитирования:

Коростелева Н. В., Ламсков А. В. Освоение подземного пространства как фактор улучшения качест-ва городской среды (на примере города Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архите-ктурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 2(99). С. 266—276. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_266.

Об авторах:

Коростелева Наталия Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. городского строительства, экономики и управления проектами, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; korostelevanv@mail.ru

Ламсков Андрей Вячеславович — студент, Волгоградский государственный технический уни-верситет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; lamskov.2016@mail.ru

Natalia V. Korosteleva, Andrey V. Lamskov

Volgograd State Technical University

THE DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACE AS A FACTOR IN IMPROVING THE QUALITY OF THE URBAN ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF VOLGOGRAD)

Due to the shortage of territorial resources in cities and the increase in environmental problems, the issue of developing their underground space has become very relevant. The world experience of urban planning shows that at the present stage, the strategy for solving complex socio-economic. Environmental and urban planning problems is being implemented by forming the spatial structure of

the city, which is a multi-level and multifunctional city with maximum vertical development due to the combined use of underground space in a single urban planning plan integrated into the general development plan of the city. The article defines the positive impact of underground construction on the development of urbanized areas. Based on a comparative analysis of world experience, the main reasons that restrain the development of underground construction in Russia have been identified. The prospects for the introduction of underground construction in the urban planning practice of Volgograd are considered. Recommendations are given on the most suitable directions for the development of the underground space of the city.

Key words: underground construction, underground construction facilities, underground space, underground utilities, the quality of the urban environment.

For citation:

Korosteleva N. V., Lamskov A. V. [The development of underground space as a factor in improving the quality of the urban environment (on the example of the city of Volgograd)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 2, pp. 266—276. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_266.

About authors:

Natalia V. Korosteleva — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; korostelevanv@mail.ru

Andrey V. Lamskov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; lamskov.2016@mail.ru