

УДК 911.375

## ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ г. КАЗАНИ)

© 2025 г. В.А. Федорова\*, Г.Р. Сафина

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия**\*E-mail: fva\_14@mail.ru*

Поступила в редакцию 29.11.2023 г.

После доработки 14.01.2025 г.

Принята к публикации 29.03.2025 г.

Неограниченное периметральное расположение города на определенном этапе приводит к возникновению социальных, экономических и экологических проблем, которые в негативном ключе отражаются на качестве городской среды. Предотвратить подобный путь экстенсивного городского развития позволяет обращение к концепции “компактный город”, основанной на максимально эффективном использовании внутренних территориальных ресурсов. Одним из процессов, позволяющих оптимизировать процессы в городе и остановить его территориальный рост, является освоение городского подземного пространства. В работе исследуется освоение подземного пространства г. Казани, представленного транспортной инфраструктурой, как способ оптимизации городских территорий. Использование актуальных данных о количестве и пространственных особенностях подземной транспортной инфраструктуры Казани позволило оценить масштабы освоения подземного пространства. На момент исследования в городе насчитывалось 344 объекта подземной транспортной инфраструктуры (подземные паркинги под жилыми домами и социальными объектами, пешеходные переходы, станции метрополитена, тоннели). Наибольшее количество подземных транспортных сооружений находится в центре, в Вахитовском районе (47% всех объектов города). Затем следуют районы, примыкающие к центру: Приволжский, Кировский, частично Советский – на их долю приходится соответственно 15, 14 и 9% подземных транспортных объектов города. Производственная направленность Авиастроительного и Московского районов и сложные гидрогеологические условия Ново-Савиновского района обусловили наименьшее количество объектов подземной инфраструктуры на их территории. Рациональное использование подземного пространства возможно лишь при наличии нормативно-правовой базы, относящейся к градостроительному проектированию и отражающей аспекты подземной урбанистики. Освоение подземного пространства по единому градостроительному плану, увязанному с Генеральным планом города, будет способствовать его комплексному освоению и использованию.

*Ключевые слова:* город, территориальные ресурсы, подземная транспортная инфраструктура, подземное пространство города, урбанизация

DOI: 10.31857/S0869607125020028, EDN: KXHCQG

### Введение

Интенсивная урбанизация в современном мире является причиной активизации различных процессов в городах (строительство, развитие транспортных сетей,

инженерной инфраструктуры и т.д.), что в конечном итоге зачастую приводит к расширению городских границ и “разрастанию городов”. Подобный путь экстенсивного городского развития сопряжен с негативными последствиями экономического и социального характера, а также с обострением экологических проблем. Предотвращение разрастания может быть достигнуто внедрением концепции “компактного города”, которая предполагает максимально эффективное использование внутреннего территориального потенциала [31, 32]. Компактность города может быть достигнута через такие процессы как уплотнительная застройка, реновация, редевелопмент, включение в городское хозяйство неудобных земель, создание искусственных земельных участков в пределах городских акваторий. Кроме того, дефицит городских территорий может быть преодолен посредством интенсивного развития вертикальной составляющей города, реализуемого в процессе активного использования подземного пространства и увеличения этажности зданий [25].

Целью данной работы является исследование освоения подземного пространства города Казани, представленного транспортной инфраструктурой, как способа оптимизации городских территорий. Объектом исследования выступает подземное пространство города Казани, используемое для транспортной инфраструктуры. Предметом исследования является оптимизация и эффективность использования городской территории при освоении подземного пространства.

В настоящее время вопросы освоения подземного пространства в крупных городах привлекают внимание градостроителей, экологов, проектировщиков. Масштабы подземной урбанистики и виды размещения в подземном пространстве объектов строительства зависят от размеров города и обуславливаются характерными для конкретных условий социальными, экономическими и градостроительными предпосылками, обеспечивающими совершенствование систем обслуживания населения, рациональное использование городских территорий и повышение эффективности капитальных вложений [23].

Основные тенденции и направления современной подземной урбанистики заключаются в комплексном освоении подземного пространства, предполагающим учет взаимосвязи всех структурных элементов, определяющих функционирование крупного города:

- наземной части, включающей здания, инженерные сооружения, наземные транспортные коммуникации, водную и воздушную среду;
- подземной части, к которой относят подвалы зданий, транспортные системы, объекты различного назначения, инженерные сети;
- геологической и гидрогеологической среды [20].

Подземное строительство успешно реализуется во многих странах мира в силу исполнения ими “Руководящих международных принципов устойчивого пространственного развития Европейского континента” [18], направленных в том числе на создание компактных городов и сохранение исторического наследия. Важной особенностью вертикальной составляющей развития современных городов является не просто точечное (локальное) строительство подземных сооружений, а создание и реализация концепций градостроительного проектирования экологически чистых подземных городов, представляющих собой многофункциональные подземные комплексы (Монреаль, Токио, Осака, Хельсинки) [1, 33, 34].

Показателен в этом отношении город Торонто, в подземном пространстве которого находится крупный город-комплекс PATH, построенный в 1997 году. На протяжении 28 километров он соединяет между собой на 12 уровнях пешеходные переходы,

железнодорожные терминалы, станции городского метрополитена и достопримечательности.

В России проблема освоения подземного пространства наиболее актуальна для мегаполисов, прежде всего Москвы и Санкт-Петербурга. Так, например, перенимая опыт планирования подземных общественных пространств зарубежных городов, в генеральный план Москвы включили зоны многофункционального общественного подземного пространства. Первым комплексом, расположенным под землей, стал ТРК “Охотный ряд”, который был построен в 1997 году, где на площади 70 тыс. м<sup>2</sup> были размещены такие объекты, как магазины, рестораны, кафе, автомобильные парковки. Некоторые города-миллионники решают проблему освоения подземного пространства путем строительства и эксплуатации метрополитена (Екатеринбург, Казань, Нижний Новгород, Самара).

В целом мировой опыт функционирования мегаполисов показывает, что оптимальные условия для устойчивого развития территорий достигаются при доле подземных сооружений от общего числа построенных объектов на уровне не менее 20–25%. В Москве этот показатель составляет около 8%, причем подземные здания и сооружения в большинстве случаев не являются комплексными сооружениями [2].

Многообразие аспектов изучения направления “вертикального урбанизма” обуславливает необходимость обращения к типологии и классификации объектов подземной городской инфраструктуры. Классификация городских подземных сооружений в зависимости от их функционального назначения предполагает выделение следующих типов объектов: инженерно-транспортных, зрелищных, административных и спортивных сооружений; объектов коммунально-бытового обслуживания и складского хозяйства; предприятий торговли и общественного питания; промышленных объектов и инженерного оборудования.

Глубина заложения разных типов городских подземных сооружений во многом определяется таким фактором, как время пребывания населения и персонала, обслуживающего эти объекты. Так, в пределах первого уровня располагаются объекты, которые посещаются всеми горожанами и эксплуатируются в постоянном режиме (пешеходные тоннели, объекты торговли и бытового обслуживания населения, культурно-досуговые учреждения). На втором уровне размещаются объекты, посещение которых происходит кратковременно всеми категориями горожан (транспортные тоннели, гаражи, автостоянки, складские помещения, коммуникации). Третий уровень характеризуется допуском ограниченного количества квалифицированных специалистов, размещением здесь промышленных предприятий и объектов энергетической городской инфраструктуры. Четвертый уровень максимально удален от земной поверхности и содержит различные инженерные коммуникации, обслуживание которых не предполагает постоянного присутствия персонала [13].

В данной работе мы ограничиваемся рассмотрением подземных объектов инженерно-транспортной городской инфраструктуры, к которым относятся пешеходные, автодорожные и железнодорожные тоннели, метрополитен, автостоянки и парковки, располагающиеся в пределах первых двух уровней глубины.

Целесообразность формирования подземного пространства следует определять исходя из следующего:

- возможности освобождения наземных территорий под новое строительство, создания озелененных и рекреационных территорий;
- требований сохранения исторической среды;

– увеличения пассажирооборота станций метрополитена, железных и автомобильных дорог;

– наличия крупных объектов концентрации населения (офисных, торгово-развлекательных, спортивных и концертных центров, парков) [22].

Кроме того, следует обратить внимание на следующие проблемы, возникающие в период создания подземных объектов и последующей их эксплуатации:

1. Дороговизна и долгая окупаемость возводимых объектов, которая формируется за счет:

– сложностей инженерных, геологических, гидрогеологических изысканий, которые позволяют определить участок размещения объекта подземной инфраструктуры (обеспечение водонепроницаемости объекта, исключение просадок грунтов и др.) и технологию его создания;

– обеспечения безопасности в период строительства и последующей эксплуатации подземных объектов;

– нестандартных проектировочных решений подземных сооружений;

– более высоких, по сравнению с наземными объектами, эксплуатационных затрат на их содержание (освещение, кондиционирование и вентилирование помещений; в районах высокого уровня грунтовых вод — на их откачку).

2. Необходимость учета характера сложившейся застройки, наличие существующей подземной инфраструктуры (канализация, водопровод, электрические кабели, транспортные объекты и др.) и функционального назначения наземного пространства.

3. Психологический аспект для населения в процессе пребывания в подземном пространстве (до сих пор нет однозначных выводов о том, как влияет нахождение под землей на психическое здоровье человека) [13].

Таким образом, использование подземных сооружений сопряжено с рядом трудностей, которые ограничивают их широкое распространение в городской среде.

## **Материалы и методы**

Подземная транспортная система города Казани, рассмотренная в данной статье, представлена следующими основными типами объектов:

– подземными парковками и гаражами в жилых комплексах;

– подземными автостоянками и парковочными пространствами при различных учреждениях социального назначения (вокзалы, торговые центры, рынки, учреждения культуры и спорта и т.д.);

– подземной улично-дорожной и транспортной сетью (переходы и тоннели);

– метрополитеном.

В качестве исходного материала была использована статистическая информация порталов “Дом.МинЖКХ” [17], Фонда развития территорий [26] и Единой информационной системы жилищного строительства Минстроя РФ [6], на основе которых авторами создан реестр объектов жилищного фонда г. Казани, насчитывающий более 5 тыс. многоквартирных жилых домов и позволяющий оценить масштабы и виды подземной инфраструктуры.

Особенности подземной инфраструктуры определялись на основе таких онлайн-ресурсов как База недвижимости в Казани [27], Карта Казани: улицы, дома и организации города — 2ГИС [12], Казанский паркинг [11], а также был использован инструмент “Панорамы” в сервисе Яндекс Карты [30]. Пространственные особенности вертикальной составляющей, представленной подземной транспортной

инфраструктурой, были выполнены в программе QGIS, в качестве подложки использовалась картографическая основа публичной кадастровой карты [19].

## Результаты и обсуждение

В столице Республики Татарстан — г. Казани — на момент исследования насчитывается 344 объекта подземной инфраструктуры, представленных парковками/стоянками в жилых многоквартирных домах и при объектах социального обслуживания, подземными пешеходными переходами, автотранспортными тоннелями и метрополитеном (см. табл. 1).

В большинстве своем — это объекты, созданные в постсоветский период, поскольку развитие подземной урбанистики в стране, в том числе и подземной транспортной инфраструктуры, четко следует за изменением экономической системы, важнейшей составляющей которой стала Земельная реформа 1990 г. [9]. В ходе Земельной реформы была ликвидирована монополия государства на землю и осуществлен переход к многообразию форм собственности. Земля, являясь объектом социально-экономических отношений, стала рассматриваться как недвижимое имущество, как товар и объект хозяйственной деятельности, что в условиях ограниченного городского пространства существенно повысило ее ценность.

Если рассматривать особенности развития подземного строительства в Казани, то активное возведение подземных сооружений транспортного назначения было связано с подготовкой города к спортивным событиям международного значения (Универсиада студентов в 2013 г., Чемпионат мира по футболу в 2018 г.) и строительством Большого Казанского кольца (БКК) — магистрали непрерывного движения в городе. При подготовке к данным мероприятиям были проведены масштабные работы по улучшению дорожно-транспортной системы — устройство развязок, пешеходных переходов, стоянок.

**Таблица 1.** Подземная транспортная инфраструктура в г. Казани

**Table 1.** Underground transport infrastructure in the city of Kazan

| Объекты подземной транспортной инфраструктуры / Район                           | Авиастроительный | Вахитовский | Кировский | Московский | Ново-Савиновский | Приволжский | Советский | Казань |
|---|------------------|-------------|-----------|------------|------------------|-------------|-----------|--------|
| Автотранспортные тоннели, ед.   | –                | 1           | 1         | 1          | 2                | 1           | 1         | 7      |
| Метро, количество станций   | 1                | 3           | –         | 3          | –                | 3           | 1         | 11     |
| Парковки при объектах соц. обслуживания, ед.                                    | 2                | 11          | 3         | 1          | 1                | 3           | 2         | 23     |
| Подземные пешеходные переходы (отдельные, не совмещенные с метрополитеном), ед. | 1                | 6           | 11        | 3          | 8                | 4           | 2         | 35     |
| Парковки в жилых многоквартирных домах, ед.                                     | 5                | 142         | 33        | 4          | 18               | 41          | 25        | 268    |
| Общее количество всех подземных объектов, ед.                                   | 9                | 163         | 48        | 12         | 29               | 53          | 30        | 344    |

Территория города Казани разделена на 7 административных районов: Авиастроительный, Московский, Ново-Савиновский, Кировский, Советский, Приволжский и Вахитовский. Следует отметить, что ни численность населения района, ни его площадь не определяют количество объектов подземной инфраструктуры (см. табл. 2). Так, площадь Вахитовского района в 4,5 раза меньше территории Приволжского района, однако количество подземных объектов в нем в 3 раза больше (см. рис. 1).

Районы сильно различаются историей, социально-экономическими показателями (экономическая специализация района, развитость социальной инфраструктуры, структура проживающего в районе населения и др.), физико-географическими факторами (географическое положение, гидрологические и геологические особенности) и экологическими условиями. Как следствие — неравномерное распределение объектов подземной транспортной инфраструктуры по административным районам (см. рис. 2).

Как и следовало ожидать, максимальное количество подземных транспортных сооружений расположено в центре, в Вахитовском районе (на долю которого приходится 47% всех объектов подземной транспортной инфраструктуры города). Затем следуют районы, примыкающие к центру: Приволжский, Кировский, частично Советский — на их долю приходится соответственно 15, 14 и 9% подземных транспортных объектов города.

Производственная направленность Авиастроительного и Московского районов и сложные гидрогеологические условия Ново-Савиновского района обусловили наименьшее количество объектов подземной инфраструктуры на их территории.

Центральное положение Вахитовского района и его историческая привлекательность, обусловленная максимальной концентрацией на данной территории большого количества объектов культурного наследия, административных, культурных,

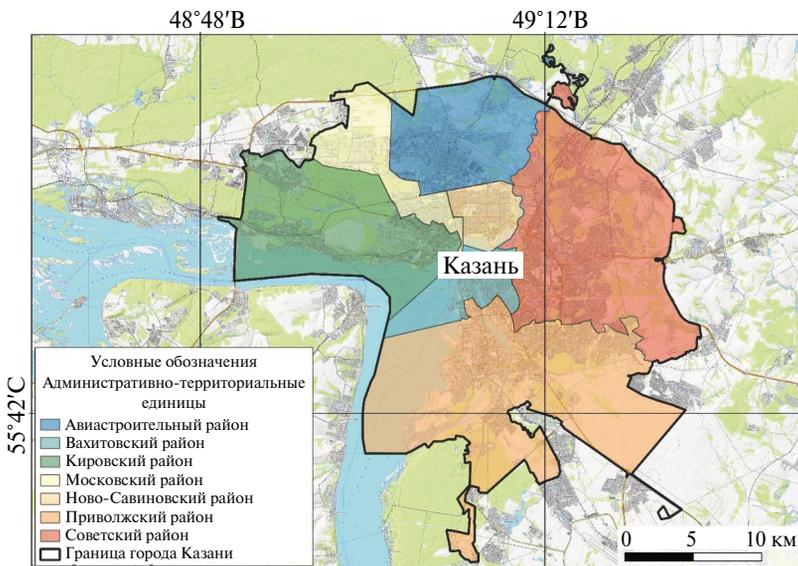


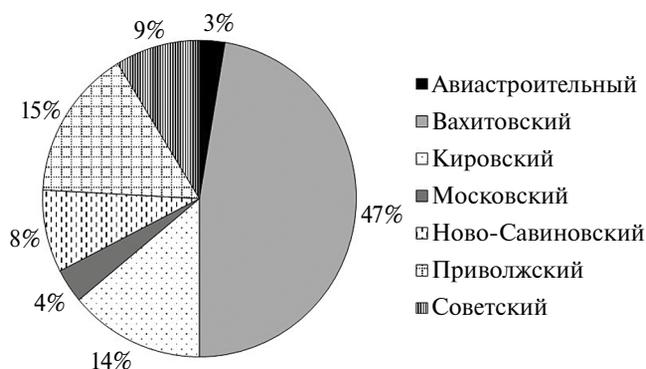
Рис. 1. Административное деление г. Казани.

Fig. 1. Administrative division of the city of Kazan.

**Таблица 2.** Сведения о численности, площади, плотности населения и количестве подземных объектов по районам г. Казани [29]

**Table 2.** Information on the number, area, population density and number of underground facilities by districts of the city of Kazan

| Наименование     | Население, тыс. человек | Площадь, км <sup>2</sup> | Плотность населения, чел./км <sup>2</sup> | Число подземных объектов |
|------------------|-------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| Авиастроительный | 118.1                   | 71.8                     | 1645                                      | 9                        |
| Вахитовский      | 85.0                    | 25.8                     | 3292                                      | 163                      |
| Кировский        | 140.0                   | 108.8                    | 1287                                      | 48                       |
| Московский       | 133.2                   | 38.8                     | 3431                                      | 12                       |
| Ново-Савиновский | 222.9                   | 20.7                     | 10790                                     | 29                       |
| Приволжский      | 272.5                   | 115.2                    | 2366                                      | 53                       |
| Советский        | 336.9                   | 167.0                    | 2018                                      | 30                       |
| Казань           | 1308.6                  | 548.0                    | 2388                                      | 344                      |



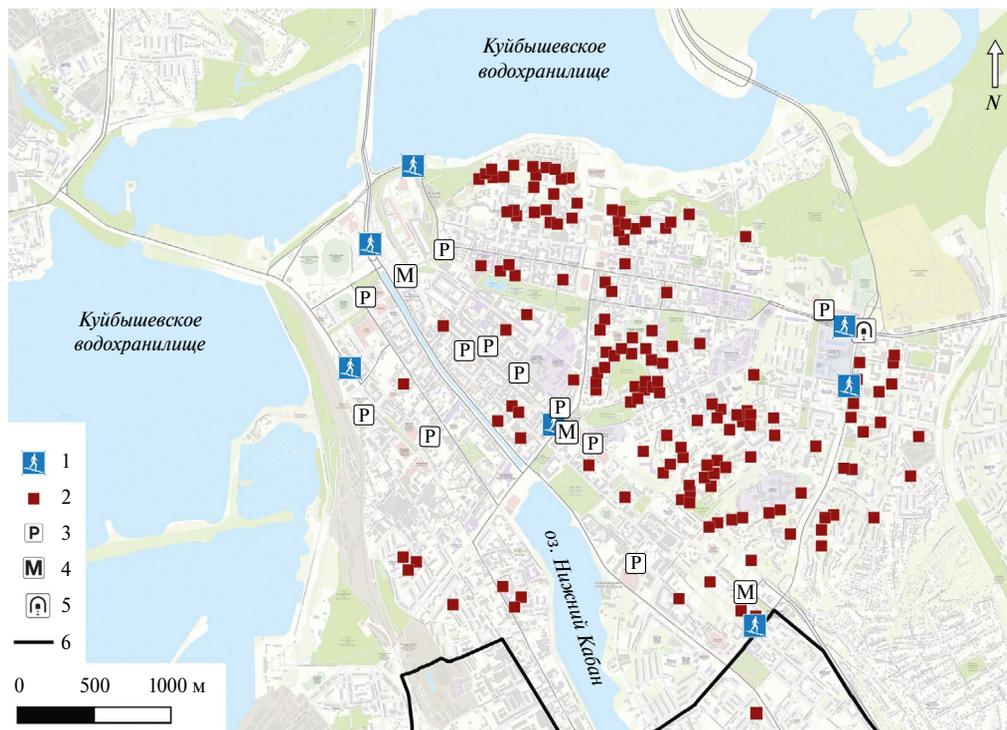
**Рис. 2.** Объекты подземной транспортной инфраструктуры по районам.

**Fig. 2.** Underground transport infrastructure facilities by region.

образовательных, спортивных сооружений, гостиниц, множества кафе и ресторанов, обострили проблему парковок для туристов (в местах туристического паломничества) и жителей города (в местах проживания и труда) (см. рис. 3).

Плотная застройка района и система градостроительных ограничений в центре города делает традиционные подходы (создание наземного паркинга) сложно реализуемыми [16] и заставляет девелоперов активнее использовать подземное пространство для обустройства парковок как при объектах социального обслуживания (48% от их общего числа в городе), так и в жилых многоквартирных домах (53% от их общего городского числа).

Решению транспортных проблем в исторической части города способствует работа метрополитена (3 первые открытые станции находились именно в Вахитовском районе), а также подземные переходы в местах максимальной концентрации пешеходов. Характеризуя подземные транспортные сооружения в целом, можно констатировать, что парковки в жилых многоквартирных домах являются в городе самыми распространенными и многочисленными объектами подземной инфра-



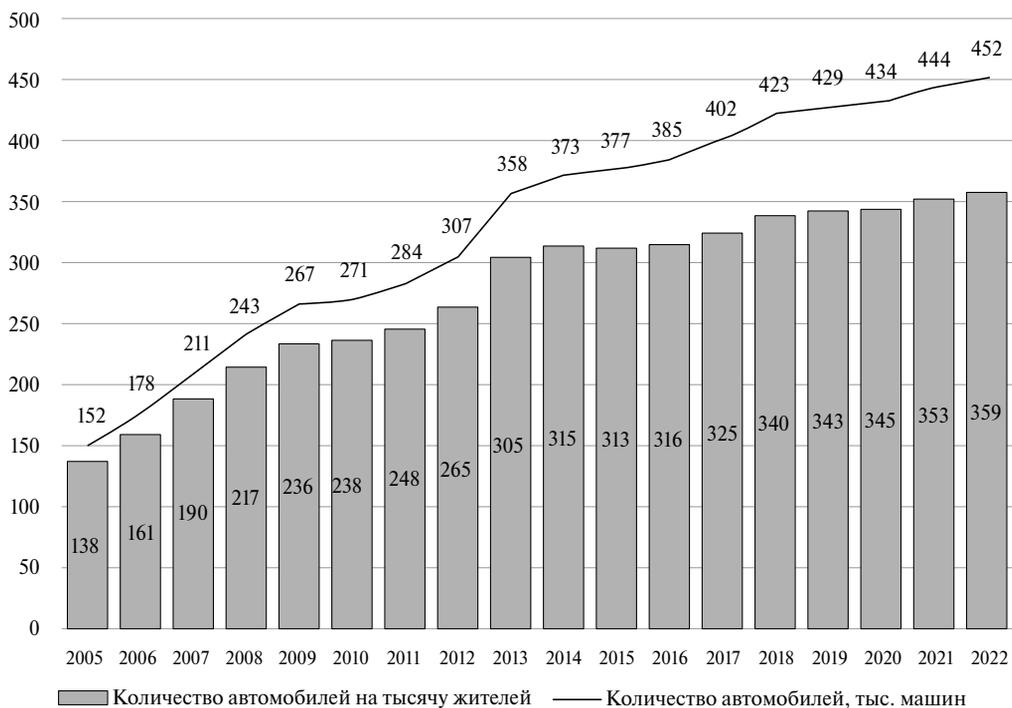
**Рис. 3.** Объекты подземной инфраструктуры Вахитовского района: 1 — подземные пешеходные переходы; 2 — подземные парковки в жилых многоквартирных домах; 3 — подземные парковки при объектах социального обслуживания; 4 — станции метрополитена; 5 — тоннели; 6 — граница района.

**Fig. 3.** Underground infrastructure facilities of the Vakhitovskiy district: 1 — underground pedestrian crossings; 2 — underground parking in residential apartment buildings; 3 — underground parking at social service facilities; 4 — metro stations; 5 — tunnels; 6 — district border.

структуры (см. табл. 1), что обусловлено, в основном, возрастающим уровнем автомобилизации населения, проживающего на территории г. Казани (см. рис. 4).

По данным информационного агентства “Татар-информ” в 2022 г. абсолютное количество автомобилей у физических лиц составляло 452 тыс., количество автомобилей, приходящееся на 1000 жителей, — 359 единиц [10]. Растущий парк автотранспорта и возрастающий уровень автомобилизации приводят к увеличению нагрузки на дорожную сеть и обострению проблемы поиска территорий для строительства парковок.

По административным районам распределение подземных парковок при жилых домах неравномерное: как и следовало ожидать, максимальное количество подобных объектов находится в центре, в Вахитовском районе, который является исторической частью, в которой возник город. В настоящее время именно здесь располагаются основные достопримечательности. Район имеет развитую инфраструктуру, хорошую транспортную доступность, характеризуется отсутствием крупных промышленных предприятий и является наиболее комфортным и благоприятным для проживания. Свободные незастроенные территории здесь практически отсутствуют, но данный район остается привлекательным для застройщиков (стоимость квартир здесь в среднем в 1.5 раза выше, чем в других районах). Эти обстоятельства



**Рис. 4.** Уровень автомобилизации в городе Казани за период 2005–2022 гг.

**Fig. 4.** Number of cars in the city of Kazan for the period of 2005–2022.

приводят к тому, что в Вахитовском районе отмечается наибольшее количество эпизодов точечной застройки [24]. При точечной застройке в условиях ограниченного пространства невозможно обеспечить необходимое количество наземных парковочных мест (в том числе и многоуровневых), поэтому остается вариант с подземным паркингом.

Следует отметить, что на географию жилой застройки, имеющей подземный паркинг (как и на другие объекты подземной инфраструктуры), влияют природные и техногенные факторы. Так, территория Ново-Савиновского района изначально была подтоплена из-за особенностей своего геоморфологического положения — она расположена в низовьях правого аккумулятивного берега долины реки Казанки, что обусловило высокий уровень грунтовых вод. Создание Куйбышевского водохранилища (1955–1957 гг.) привело к техногенному (гидротехнический тип) подтоплению исследуемой территории. Подъем уровня воды в р. Волге в среднем на 11,3 м от меженного уровня увеличил его влияние в устьевой части Казанки вглубь до 5 км [3].

Помимо подтопления, обусловленного созданием водохранилища, наблюдается также и градостроительное подтопление, которое формируется за счет попадания в грунты воды, циркулирующей по подземным городским коммуникациям (подземные теплотрассы, водопроводные и канализационные системы) [8]. В результате совокупности указанных типов подтопления происходит формирование грунтовых вод на глубине от 2 до 3 метров от поверхности [3].

Подтопление территории на протяжении длительного времени препятствовало вовлечению Ново-Савиновского района в активное городское строительство. Район начал интенсивно застраиваться лишь во второй половине XX в. — после работ, связанных с увеличением абсолютных отметок поверхности методом намыва и насыпки грунта [20]. Намывные грунты представлены песками различного гранулометрического состава, преимущественно водонасыщенными, которые изначально относились к аллювиальным отложениям. Мощность намывных грунтов в среднем колеблется от 2 до 4 м, в некоторых случаях достигая 8–11 м. Песчаные насыпные грунты представлены преимущественно кварцевыми песками от пылеватых до среднезернистых, различной степени водонасыщения. Изначально они являлись аллювиальными отложениями, добытыми карьерным способом в окрестностях г. Казани. Мощность насыпных песчаных грунтов редко достигает 5 м [8]. По данным А.И. Латыпова с соавт. [15], песчаные насыпные и намывные грунты данной территории при определенных условиях характеризуются динамической неустойчивостью (разуплотнение, доуплотнение, разжижение и накопление сдвиговых деформаций).

В настоящее время данные искусственные грунты являются основанием для жилых и промышленных сооружений, но, как правило, ограничивают строительство подземных объектов, поскольку на грунтах по инженерно-геологическим условиям, относящимся к средним и сложным, возможно возводить подземные сооружения, в основном 1-й и 2-й геотехнических категорий. К ним относятся небольшие и относительно простые сооружения глубиной не более 2 м, устраиваемые выше уровня подземных вод, а также подземные сооружения, возводимые в условиях отсутствия неблагоприятных природных и техногенных процессов, а также специфических и структурно-неустойчивых грунтов [21]. Этим в основном объясняется тот факт, что, несмотря на высокую плотность населения и современную многоэтажную застройку, в данном районе в настоящее время обустроено незначительное количество подземных парковок (18 ед.).

Незначительное количество жилых домов с подземным паркингом в Авиастроительном и Московском районах обусловлено их промышленной направленностью (в Авиастроительном районе расположены вертолетный, авиастроительный и моторостроительный заводы) и, как следствие, неблагоприятной экологической обстановкой. Наличие территориальных резервов, удаленность от центра, недостаточно развитая инфраструктура делает их малопривлекательными для застройщиков жилья бизнес- и премиум-классов. Следует отметить, что кроме решения территориальных проблем подземные паркинги обеспечивают быстрый и удобный доступ, лучшую сохранность транспортного средства (поскольку имеют постоянный температурный режим) и экологичность (за счет централизованного выброса выхлопных газов через вентиляционные шахты, с устройством систем фильтрации), что существенно повышает уровень жизни жителей и качество городской среды [28].

Подземные пешеходные переходы — это практически единственные объекты подземной инфраструктуры, сооруженные еще во времена СССР. Так, на территории Казани существовало 2 таких объекта (один — в центре города на ул. Пушкина, второй — на ул. Декабристов). В настоящее время насчитывается 35 подземных переходов, и столь значительное увеличение их количества обусловлено реорганизацией транспортной системы города. Современные подземные пешеходные переходы имеются во всех частях города (больше всего их в Кировском, Вахитовском и Ново-Савиновском районах); приурочены они к местам тяготения пешеходных

потоков (около железнодорожных станций, торговых центров, парков и др.), а также к магистралям с непрерывным движением транспорта и перекресткам.

Общее количество парковок и автостоянок при объектах социального обслуживания в Казани составляет 23 единицы (7% от общего количества транспортных подземных объектов города), большинство из них возведены в постсоветский период (см. табл. 1). Парковки при объектах социального обслуживания (торговые и бизнес-центры, спортивные сооружения, набережные и др.) можно разделить на спроектированные изначально (ТЦ “Мега”, “Южный”, “Kazan Mall”, Федосеевская набережная и др.) и сооруженные на прилегающих территориях уже в период эксплуатации объекта (Отель “Korston Club”, парковка у железнодорожного вокзала Казань-1, у Центрального рынка и др.). Максимальная концентрация (47% от общего количества в городе) парковок данного вида отмечается в центре города (Вахитовский район) под торговыми центрами, у здания Национальной библиотеки, Домом правительства РТ и др. Незначительное количество подземного паркинга в других районах обусловлено наличием в этих частях города территориальных резервов для обустройства наземных (ТЦ “Тандем”) и многоуровневых парковок (Ледовый дворец спорта “Татнефть Арена”, ТЦ “Савиново”). Кроме того, ограничение распространения подземного паркинга связано со сложностями его сооружения, обусловленными специфическими гидрогеологическими условиями.

Важнейшим элементом подземной транспортной инфраструктуры многих городов-миллионников является метрополитен. В Казани он функционирует с 2005 года, является единственным метрополитеном, построенным в постсоветское время в стране, его открытие было приурочено к празднованию 1000-летия Казани. Метрополитен состоит из одной линии (проходит с севера через центр на юго-восток города), имеет протяженность 16,8 км и включает 11 станций (некоторые станции мелкого заложения, 1 станция надземная) (см. табл. 1). Целью создания данной линии было соединение спальных районов на юго-востоке (Приволжский район) с центром (Вахитовский район) и промышленным севером (Авиастроительный и Московский районы). В настоящее время ведется строительство второй ветки казанского метрополитена, состоящей из 4 станций глубиной заложения 14–17 м: “Тулпар”, “Зилант”, “Академическая”, “100-летие ТАССР”.

Необходимость возведения автотранспортных тоннелей возникла в основном при реконструкции существующих магистралей, организации движения транспорта в разных уровнях на пересечениях автомагистралей. Автотранспортные тоннели в городе имеют неглубокое заложение и небольшую протяженность, по районам города они распределены почти равномерно (см. табл. 1).

Рациональное использование подземного пространства сложно реализовать без наличия разработанной соответствующей нормативно-правовой базы (стратегий социально-экономического развития, программ, регламентов и др.) для конкретных городов. Так, в Москве обустройство подземного пространства максимально реализовано в рамках “Концепции освоения подземного пространства и основных направлений развития подземной урбанистики Москвы”, “Городской программы комплексного градостроительного освоения подземного пространства города Москвы на период 2009–2011 гг.” (Постановление Правительства Москвы от 18.11.2008 № 1049-ПП), а также Генерального плана до 2025 г. [7]. Реализация указанных программ позволяет решить планировочные задачи сохранения как открытых пространств, так и исторической застройки, обеспечивает доступность объектов обслуживания, мест приложения труда и хранения автотранспорта, приводит

к интенсификации использования производственных территорий, развитию инженерной и транспортной инфраструктуры [2].

## Заключение

Генеральный план г. Казани (2020) [4] не имеет сформированного комплексного плана развития подземной инфраструктуры, хотя в его отдельных разделах представлены перспективы строительства новых линий метрополитена и подземных пешеходных переходов. Возможно, этим обусловлено то, что существующая подземная транспортная инфраструктура в городе — это, как правило, изолированные, не связанные между собой и наземными объектами сооружения (только 3 из 11 станций метро имеют подземные торговые галереи; 1 станция обеспечивает переход на железнодорожный вокзал и автостанцию, и 1 станция имеет переход к пригородным поездам). Однако связь подземных сооружений между собой (там, где это возможно), а также с объектами наземной инфраструктуры (остановки транспорта, пункты универсально-бытового обслуживания, торговые точки, места общественного питания и прочее) в единую систему обеспечивает эффективное использование не только подземного, но и наземного пространства города [5, 14].

Расширение и конкретизация нормативно-правовых положений в части подземной урбанистики будет способствовать дальнейшему развитию не только подземной транспортной инфраструктуры, но и других направлений (по функциям) эксплуатации подземного пространства, что в перспективе приведет к комплексному их использованию. В результате градостроительная деятельность будет соответствовать принципам рационального использования городских территорий, особенно в центральной части городов, где запрос на жилую и общественную застройку достаточно высок.

## Список литературы

1. Беляев В.Л. Основы подземного градоустройства. М.: МГСУ, 2012. 198 с.
2. Беляев В.Л. Планирование градостроительного освоения подземного пространства г. Москвы // Вестник МГСУ. 2013. № 1. С. 35–46.
3. Бубнов Ю.П., Давыдов Р.Н., Захарова Л.Н., Полякова Н.В. Подземные воды г. Казани // Экология города Казани. Казань: Изд-во “Фэн” Академии наук РТ, 2005. С. 70–80.
4. Генеральный план МО г. Казань, утвержденный решением Казанской городской Думы от 28.02.2020, № 5-38. URL: <https://kzn.ru/content/upravlenie-arkhitektury/GenPlan/Приложение%20к%20решению%20№%205-38.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
5. Голицынский Д.М. Комплексное освоение подземного пространства больших городов // Транспорт Российской Федерации. 2006. № 5. С. 92–94.
6. Единая информационная система жилищного строительства Минстроя РФ. URL: <https://наш.дом.рф> (дата обращения: 07.10.2023).
7. Генеральный план города Москвы. Положения о территориальном планировании города Москвы. Кн. 1. М., 2010. 609 с. URL: [https://www.mos.ru/upload/content/files/kniga\\_1.pdf](https://www.mos.ru/upload/content/files/kniga_1.pdf) (дата обращения: 10.12.2023).
8. Жаркова Н.И., Черныйчук Г.А., Жарков И.Я., Галеев Р.К. Техногенные грунты г. Казани: особенности формирования состава, строения и свойств // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2013. Т. 155. № 4. С. 130–143.
9. Закон РСФСР от 23 ноября 1990 г. “О земельной реформе” (с изменениями и дополнениями). URL: <https://base.garant.ru/10107009> (дата обращения: 10.12.2023).

10. Кузнецова Э. Казань за 2023 год получила 400 млн рублей от работы городских парковок [Электронный ресурс] // Информационное агентство “Татар-информ”. URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/kazan-za-2023-god-polucila-400-mln-rublei-ot-raboty-gorodskix-parkovok-5930709> (дата обращения: 10.01.2024).
11. Казанский паркинг. URL: <https://parkingkzn.ru> (дата обращения: 01.12.2023).
12. Карта Казани: улицы, дома и организации города — ГИС. URL: <https://2gis.ru/kazan> (дата обращения: 15.12.2023).
13. Конюхов Д.С. Систематизация подходов к освоению подземного пространства городов // Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 63–67.
14. Коростелева Н.В., Ганиев Э.Р., Насиров Р.К. Проблемы организации мест для хранения автомобилей на жилой территории на примере города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 3 (76). С. 63–72.
15. Латыпов А.И., Жаркова Н.И., Чернийчук Г.А. Районирование территории города Казани по устойчивости грунтовых оснований к динамическому воздействию // Геотехника. 2013. № 1. С. 42–48.
16. Львова О.М., Тулин П.К. Подземные автоматизированные паркинги в центре города // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 4 (6). С. 11–15.
17. Общественный проект “Дом.МинЖКХ.РУ”. URL: [dom.mingkh.ru](http://dom.mingkh.ru) (дата обращения: 05.11.2023).
18. Основополагающие принципы устойчивого пространственного развития Европейского континента / Пер. К.А. Анаичева. 2002. 31 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://tm.coe.int/168070018c> (дата обращения: 05.12.2024).
19. Публичная кадастровая карта РФ. URL: [публичная-кадастровая-карта.рф](http://публичная-кадастровая-карта.рф) (дата обращения: 5.12.2023).
20. Сафина Г.Р., Федорова В.А., Демина Л.С. Вовлечение подтопленных территорий в городское строительство // Естественнонаучные исследования в Чувашии и сопредельных регионах. Чебоксары: Рекламно-полиграфическое бюро “Плакат”, 2022. Вып. 8. С. 144–153.
21. СП 248.1325800.2016. Сооружения подземные. Правила проектирования // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума “Кодекс” [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200137144?marker=7D20K3&section=text> (дата обращения: 26.11.2024).
22. СП 473.1325800.2019. Сооружения подземные. Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования правила проектирования // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума “Кодекс” [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564543320> (дата обращения: 26.11.2024).
23. Умнов В.А., Харченко А.В. Проблемы развития городской подземной транспортной инфраструктуры. М.: Издательство МГГУ, 2004. 126 с.
24. Федорова В.А., Сафина Г.Р., Зарипова С.Н. Точечная застройка объектов жилого назначения как способ решения территориальных проблем (на примере города Казань) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический ф-т МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 4. С. 244–259.
25. Федорова В.А., Сафина Г.Р. Увеличение этажности зданий как элемент концепции “компактный город” (на примере Казани) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический ф-т МГУ, 2023. Т. 29. № 2. С. 437–452.
26. Фонд развития территорий. URL: <https://фрт.рф> (дата обращения: 05.12.2023).

27. Циан — база недвижимости в Казани. URL: <https://kazan.cian.ru> (дата обращения: 10.12.2023).
28. Чернышев С.А., Петров А.В. К вопросу о применении многоэтажных механизированных автомобильных стоянок // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2009. № 2. С. 32–36.
29. Численность и размещение населения Республики Татарстан: Статистический сборник по итогам Всероссийской переписи населения 2020 года. Т. 1. Казань: Издательский центр Татарстатаст, 2022. 43с.
30. Яндекс Карты. URL: <https://yandex.ru/maps> (дата обращения: 15.11.2023).
31. Breheny M. The Contradictions of the Compact City, a Review // Sustainable Development and Urban Form / Ed. M. Breheny. London: Pion Limited, 1992. P. 138–159.
32. Newton P. Urban Form and Environmental Performance // Achieving Sustainable Urban Form / Eds. K. Williams, E. Burton, M. Jenks. London: Spon Press, 2000. P. 46–52.
33. Nishioka S., Tannaka Y., Minemura T. Deep Underground Usage for Effective Executing of City Facility Construction // 11th ACUUS Conference: Underground Space: Expanding the Frontiers, Athens, Greece, September 10–13. 2007. P. 291–295.
34. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014. V. 6. P. 387–398.

### **The Development of Underground Space as a Way to Optimize Urban Territory: a Case Study of the City of Kazan, Russia**

**V.A. Fedorova\*, G.R. Safina**

*Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia*

*\*E-mail: fva\_14@mail.ru*

Received 29.11.2023

Revised 14.01.2025

Accepted 29.03.2025

Unlimited perimeter sprawl of a city at a certain stage leads to the emergence of social, economic, and environmental problems, which negatively affect the quality of the urban environment. Such a way of extensive urban development can be prevented by turning to the “compact city” concept, based on the most efficient use of internal territorial resources. One of the approaches to optimize processes in the city and stop its territorial extension is the development of urban underground space. This work examines the development of the underground space of the city of Kazan (European Russia), represented by transport infrastructure, as a way to optimize urban areas. The use of current data on the quantity and spatial characteristics of Kazan’s underground transport infrastructure made it possible to assess the scale of development of underground space. At the time of this study, there were 344 underground transport infrastructure objects in the city (underground car parks under residential buildings and social facilities, as well as pedestrian crossings, metro stations, and tunnels). The largest number of underground transport structures is located in the city center, in the Vakhitovsky district (47% of all city facilities). Then the districts adjacent to the city center follow: Privolzhsky, Kirovsky, and partly Sovetsky; they account for 15, 14 and 9% of the city’s underground transport facilities, respectively. The industrial specialization of the Aviastroitel’ny and Moskovsky districts of the city and the complex hydro-geological conditions of the Novo-Savinovsky district determined the smallest number of underground infrastructure facilities on their territory. Rational use of underground space is possible only if there is a regulatory framework related for urban planning that reflects the aspects of underground urbanism. The development of underground space

according to a single urban development plan, linked to the General Plan of the city, will contribute to its comprehensive development and use.

*Keywords:* city, territorial resources, underground transport infrastructure, urban underground space, urbanization

## References

1. Belyayev V.L. *Osnovy podzemnogo gradoustroystva*. M.: MGSU, 2012. 198 s.
2. Belyayev V.L. *Planirovaniye gradostroitel'nogo osvoyeniya podzemnogo prostranstva g. Moskvy* // *Vestnik MGSU*. 2013. № 1. S. 35–46.
3. Bubnov Yu.P., Davydov R.N., Zakharova L.N., Polyakova N.V. *Pozdemnyye vody g. Kazani* // *Ekologiya goroda Kazani*. Kazan': Izd-vo "Fen" Akademii nauk RT, 2005. S. 70–80.
4. *General'nyy plan MO g. Kazan', utverzhdennyy resheniyem Kazanskoy gorodskoy Dumy ot 28.02.2020, № 5-38*. URL: <https://kzn.ru/content/upravlenie-arkhitektury/GenPlan/Prilozheniye%20k%20resheniyu%20№5-38.pdf> (data obrashcheniya: 01.12.2023).
5. Golitsynskiy D.M. *Kompleksnoye osvoyeniye podzemnogo prostranstva bol'shikh gorodov* // *Transport Rossiyskoy Federatsii*. 2006. № 5. S. 92–94.
6. *Yedinaya informatsionnaya sistema zhilishchnogo stroitel'stva Ministroya RF*. URL: <https://наш.дом.рф> (data obrashcheniya: 07.10.2023).
7. *General'nyy plan goroda Moskvy. Polozheniye o territorial'nom planirovanii goroda Moskva*. Kn. 1. M., 2010. 609 s. URL: [https://www.mos.ru/upload/content/files/kniga\\_1.pdf](https://www.mos.ru/upload/content/files/kniga_1.pdf) (data obrashcheniya: 10.12.2023).
8. Zharkova N.I., Cherniychuk G.A., Zharkov I.Ya., Galeev R.K. *Tekhnogennyye grunty g. Kazani: osobennosti formirovaniya sostava, stroyeniya i svoystv* // *Uchen. zap. Kazan. univer. Ser. Yestestvennyye nauki*. 2013. T. 155. № 4. S. 130–143.
9. *Zakon RSFSR ot 23 noyabrya 1990 g. "O zemel'noy reforme"* (s izmeneniyami i dopolneniyami). URL: <https://base.garant.ru/10107009> (data obrashcheniya: 10.12.2023).
10. Kuznetsova E. *Kazan' za 2023 god poluchila 400 mln rublej ot raboty gorodskikh parkovok* // *Informatsionnoye agentstvo "Tatar-Inform"*. URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/kazan-za-2023-god-polucila-400-mln-rublei-ot-raboty-gorodskix-parkovok-5930709> (data obrashcheniya: 10.01.2024).
11. *Kazanskiy parking*. URL: <https://parkingkzn.ru> (data obrashcheniya: 01.12.2023).
12. *Karta Kazani: ulitsy, doma i organizatsii goroda — 2GIS*. URL: <https://2gis.ru/kazan> (data obrashcheniya: 15.12.2023).
13. Konyukhov D.S. *Sistematizatsiya podkhodov k osvoyeniyu podzemnogo prostranstva gorodov* // *Vestnik MGSU*. 2010. № 4. S. 63–72.
14. Korosteleva N.V., Ganiyev E.R., Nasirov R.K. *Problemy organizatsii mest dlya khraneniya avtomobiley na zhiloy territorii na primere goroda Volgograda* // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arkhitektura*. 2019. Vyp. 3 (76). S. 63–72.
15. Latypov A.I., Zharkova N.I., Cherniychuk G.A. *Rayonirovaniye territorii goroda Kazani po ustoychivosti gruntovykh osnovaniy k dinamicheskomu vozdeystviyu* // *Geotekhnika*. 2013. № 1. S. 42–48.
16. L'vova O.M., Tulin P.K. *Podzemnyye avtomatizirovannyye parkingi v tsentre goroda* // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2009. № 4 (6). S. 11–15.
17. *Obshhestvennyy proekt "Dom.MinGKH.RU"*. URL: [dom.mingkh.ru](http://dom.mingkh.ru) (data obrashcheniya: 05.11.2023).

18. Osnovopolagayushchiye printsiyы ustoychivogo prostranstvennogo razvitiya Yevropeyskogo kontinenta / Per. K.A. Anaicheva. 2002. 31 s. URL: <https://rm.coe.int/168070018c> (data obrashcheniya: 05.12.2024).

19. Publichnaya kadastraya karta RF. URL: [публичная-кадастровая-карта.рф](https://public.kadastr.ru/) (data obrashcheniya: 05.12.2023).

20. Safina G.R., Fedorova V.A., Demina L.S. Vovlecheniye podtoplennykh territoriy v gorodskoye stroitel'stvo // Yestestvennonauchnyye issledovaniya v Chuvashii i sopedel'nyh regionah. Cheboksary: Reklamno-poligraficheskoye byuro "Plakat", 2022. Vyp. 8. S. 144–153.

21. SP 248.1325800.2016. Sooruzheniya podzemnyye pravila proyektirovaniya // Elektronnyy fond normativno-tekhnicheskoy i normativno-pravovoy informatsii Konsortsiuma "Kodeks" [Elektronnyy resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200137144?marker=7D20K3&section=text> (data obrashcheniya 26.11.2024).

22. SP 473.1325800.2019. Sooruzheniya podzemnyye Zdaniya, sooruzheniya i kompleksy podzemnyye. Pravila gradostroitel'nogo proyektirovaniya pravila proyektirovaniya // Elektronnyy fond normativno-tekhnicheskoy i normativno-pravovoy informatsii Konsortsiuma "Kodeks" [Elektronnyy resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564543320> (data obrashcheniya: 26.11.2024).

23. Umnov V.A., Kharchenko A.V. Problemy razvitiya gorodskoy podzemnoy transportnoy infrastruktury. M.: Izdatel'stvo MGGU, 2004. 126 s.

24. Fedorova V.A., Safina G.R., Zaripova S.N. Tochechnaya zastroyka ob'yektov zhilogo naznacheniya kak sposob resheniya territorial'nykh problem (na primere goroda Kazan') // InterCarto. InterGIS. Geoinformacionnoye obespecheniye ustoychivogo razvitiya territorij: Materialy Mezhdunar. konf. M.: Geograficheskij f-t MGU, 2021. T. 27. Ch. 4. S. 244–259.

25. Fedorova V.A., Safina G.R. Uvelicheniye etazhnosti zdaniy kak element kontseptsii "kompaktnyy gorod" (na primere Kazani) // InterCarto. InterGIS. Geoinformacionnoye obespecheniye ustoychivogo razvitiya territorij: Materialy Mezhdunar. konf. M.: Geograficheskij f-t MGU, 2023. T. 29. № 2. S. 437–452.

26. Fond razvitiya territoriy. URL: <https://фпр.рф> (data obrashcheniya: 05.12.2023).

27. Tsian — baza nedvizhimosti v Kazani. URL: <https://kazan.cian.ru> (data obrashcheniya: 10.12.2023).

28. Chernyshev S.A., Petrov A.V. K voprosu o primeneniі mnogoetazhnykh mekhanizirovannykh avtomobil'nykh stoyanok // Vestnik Donetskoy akademii avtomobil'nogo transporta. 2009. № 2. S. 32–36.

29. Chislennost' i razmeshcheniye naseleniya Respubliki Tatarstan: Statisticheskij sbornik po itogam Vserossiyskoy perepisi naseleniya 2020 goda. T. 1. Kazan': Izdatel'skiy tsentr Tatarstatat, 2022. 43 s.

30. Yandex Karty. URL: <https://yandex.ru/maps> (data obrashcheniya: 15.11.2023).

31. Breheny M. The contradictions of the compact city, a review // Sustainable Development and Urban Form / Ed. M. Breheny. London: Pion Limited, 1992. P. 138–159.

32. Newton P. Urban form and environmental performance // Achieving Sustainable Urban Form / Eds. K. Williams, E. Burton, M. Jenks. London: Spon Press, 2000. P. 46–52.

33. Nishioka S., Tannaka Y., Minemura T. Deep Underground Usage for Effective Executing of City Facility Construction // 11th ACUUS Conference: Underground Space: Expanding the Frontiers, Athens, Greece, September 10–13. 2007. P. 291–295.

34. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014. V. 6. P. 387–398.