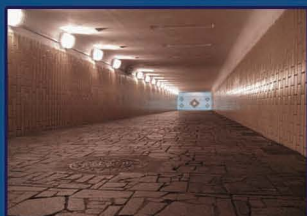


**В.И. Теличенко М.Г. Зерцалов  
Д.С. Конюхов К.Ю. Королевский  
Е.А. Король**

# **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ**



**В.И. Теличенко, М.Г. Зерцалов, Д.С.Конюхов,  
К.Ю. Королевский, Е.А. Король**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ  
ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА  
МЕГАПОЛИСОВ**



Издательство Ассоциации строительных вузов  
Москва  
2010

**Рецензенты:**

первый заместитель председателя Правления Тоннельной ассоциации России,  
к.т.н., заслуженный строитель РФ  
*С.Н. Власов;*

директор ф-ла ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены»,  
д.т.н., заслуженный строитель РФ  
*В.Е. Меркин*

**Теличенко В.И., Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С.,  
Королевский К.Ю., Король Е.А.**

Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов: Научное издание. –М.: Издательство АСВ, 2010.– 360 с.

ISBN 978-5-93093-744-4

В книге рассмотрены основные проблемы и задачи комплексного освоения подземного пространства крупных и крупнейших городов, выполнены обзор и систематизация классификаций подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, а также основных градостроительных подходов к освоению подземного пространства; проведён анализ условий применения «высоких технологий» подземного строительства в различных инженерно-геологических, геоэкологических и градостроительных условиях; рассмотрена взаимосвязь конструктивных и объёмно-планировочных решений подземных сооружений с технологией их возведения.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников, а также студентов и аспирантов строительных ВУЗов.

Рекомендовано Научно-техническим советом МГСУ

© Теличенко В.И., Зерцалов М.Г.,  
Конюхов Д.С., Королевский К.Ю.,  
Король Е.А., 2010

ISBN 978-5-93093-744-4

© Издательство АСВ, 2010

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>Глава 1. КРАТКИЙ ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПОЛОЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА</b> .....	9
1.1. Освоение подземного пространства крупных городов как необходимое условие их дальнейшего развития .....	9
1.2. Основные тенденции и направления использования подземного пространства в процессе исторического развития и на современном этапе.....	16
1.3. Анализ освоения подземного пространства г. Москвы .....	35
<b>Глава 2. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОСВОЕНИЮ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА</b> .....	63
2.1. Ресурсный подход .....	63
2.2. Градостроительный подход.....	67
2.3. Директивный подход.....	71
2.4. Комплексный подход.....	78
<b>Глава 3. КЛАССИФИКАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ</b> .....	83
3.1. Классификации подземных сооружений по социально-функциональному назначению .....	84
3.2. Классификации подземных сооружений по пространственно-планировочным характеристикам.....	93
3.3. Комплексные классификации подземных сооружений .....	105
<b>Глава 4. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГОРОДСКОМ ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ</b> .....	111
4.1. Организационные и технологические аспекты подземного строительства.....	111
4.2. Современные технологии подземного строительства .....	115
4.2.1. Состав и структура строительных технологий.....	115
4.2.2. Открытый и полужакрытый способы.....	118
4.2.3. Закрытый способ строительства .....	140
4.3. Специальные способы строительства.....	165
4.3.1. Искусственное водопонижение и водоотлив.....	169
4.3.2. Замораживание грунтов.....	172
4.3.3. Методы закрепления грунтов инъекцией .....	173
4.3.4. Щиты с пригрузом забоя .....	179

4.3.5. Проходка тоннелей под защитой экрана из труб .....	185
4.3.6. Бестраншейная прокладка инженерных коммуникаций .....	190
4.3.7. Инвентарная крепь .....	199
4.4. Проходка камерных выработок.....	202

## **Глава 5. ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА .....**

5.1. Инженерная геология и освоение подземного пространства.....	211
5.2. Инженерно-геологические, гидрогеологические и геоэкологические условия строительства в Москве.....	217
5.3. Выбор технологии подземного строительства в зависимости от инженерно-геологических, гидрогеологических и других условий .....	218

## **Глава 6. ВЗАИМОСВЯЗЬ ПЛОТНОСТИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ, ОКРУЖАЮЩЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ И ПРИМЕНЯЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА .....**

6.1. Геотехническое сопровождение строительства в процессе комплексного освоения подземного пространства .....	232
6.2. Определение деформаций окружающей застройки при строительстве заглубленных и подземных объектов .....	237
6.3. Способы снижения дополнительных деформаций существующих зданий при строительстве новых объектов.....	244
6.4. Геотехнический мониторинг .....	247
6.5. Оптимизация геотехнического мониторинга при строительстве подземных сооружений.....	254

## **Глава 7. ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ И ИХ ОБЪЁМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ .....**

7.1. Открытый способ.....	267
7.1.1. Тоннели .....	267
7.1.1.1. Автодорожные и пешеходные тоннели, тоннели метрополитена .....	267
7.1.1.1.1. Объёмно-планировочные и конструктивные решения автодорожных тоннелей, возводимых открытым способом .....	267
7.1.1.1.2. Объёмно-планировочные и конструктивные решения пешеходных тоннелей .....	276
7.1.1.1.3. Объёмно-планировочные и конструктивные решения тоннелей метрополитена мелкого заложения.....	279

7.1.2. Подземные сооружения манежного типа.....	282
7.1.2.1. Автостоянки и гаражи .....	282
7.1.2.2. Станции метрополитена .....	291
7.1.2.3. Подземные сооружения различного назначения и городские многофункциональные комплексы .....	294
7.1.2.4. Коллекторные тоннели городских инженерных сетей.....	305
7.2. Закрытый способ .....	309
7.2.1. Тоннели .....	309
7.2.1.1. Автодорожные тоннели и тоннели метрополитена .....	309
7.2.1.1.1. Объемно-планировочные и конструктивные решения автодорожных тоннелей, возводимых закрытым способом .....	309
7.2.1.1.2. Объемно-планировочные и конструктивные решения тоннелей метрополитена, возводимых закрытым способом .....	315
7.2.2. Станции метрополитена глубокого заложения .....	319
7.2.3. Транспортно-пересадочные узлы .....	324
7.2.4. Коллекторы, сооружаемые закрытым способом .....	334
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	337
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	339

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных проблем современного градостроительства является дефицит городских территорий, присущий в нашей стране в первую очередь таким мегаполисам, как Москва и Санкт-Петербург. Если для большинства российских городов эта проблема решается за счет увеличения площади городских территорий, то мегаполисы ограничены в этом стремлении существующими и не менее быстро развивающимися пригородами. Основными путями решения данной проблемы в настоящее время являются:

- увеличение плотности застройки;
- рациональное использование территорий (в первую очередь промышленных зон);
- увеличение этажности застройки;
- использование подземного пространства.

При этом, как свидетельствуют документы, публикуемые Международной тоннельной ассоциацией, несмотря на технологические трудности и значительные финансовые затраты, объемы работ, связанные с освоением подземного пространства мегаполисов, постоянно увеличиваются. Вместе с тем, по мнению большинства специалистов, подобный путь компенсации дефицита наземных городских территорий возможен только при условии рационального использования подземного пространства, которое предполагает комплексность его освоения.

Под комплексным освоением подземного пространства понимается всесторонний учет взаимосвязи и взаимовлияния всех структурных элементов, определяющих функционирование современного мегаполиса:

- наземной части города, включающей здания, инженерные сооружения, наземные транспортные коммуникации, водную и воздушную среду;
- подземной части, к которой в основном относятся: подвалы зданий, транспортные системы, объекты различного назначения, инженерные сети;
- геологической и гидрогеологической среды.

Успешное решение проблемы комплексного освоения подземного пространства возможно только на основе системного подхода, позволяющего проектировать не разрозненные и изолированные друг от друга сооружения, а градостроительно увязанную подземную систему, органически вписанную в геоэкологическую среду и связанную с архитектурно-планировочной и транспортной инфраструктурой города. Интеграция всех подземных и наземных сооружений относится к числу важнейших задач современного градостроительства.

Строительство подземных объектов должно осуществляться целенаправленно, с целью гармоничного развития и объединения наземных зданий и подземных сооружений в единую функционально и композиционно оправданную градостроительно-пространственную систему. Это позволит улучшить архитектурно-планировочную, транспортную и инженерную структуру города, рационально использовать земельные ресурсы, освобождая их от объ-

ектов вспомогательного назначения, которые не только могут, но и должны размещаться под землей, улучшить экологическую обстановку, повысить качество жизни горожан.

Однако комплексное освоение подземного пространства сложившихся городов сталкивается с рядом трудностей. Это в первую очередь:

- обеспечение сохранности существующей застройки;
- сохранение сложившихся экосистем;
- минимальное вмешательство в геологическую среду.

Наибольший вред окружающей среде, как правило, наносится во время строительства подземного объекта, а интенсивность и необратимые последствия этого вмешательства в подавляющем большинстве случаев определяются принятой технологией производства подземных работ. По сравнению с наземным промышленным и гражданским строительством при освоении подземного пространства технология возведения, имеющиеся строительные машины и оборудование определяют не только сроки строительства, но и его безопасность. Технология подземного строительства оказывает также существенное влияние на объёмно-планировочные и конструктивные решения подземного сооружения, изменение напряжённо-деформированного состояния вмещающего грунтового массива, инженерно-геологических и гидрологических условий территории, зачастую очень значительной в плане и по глубине. Особенно сильны подобные проявления при комплексном освоении подземного пространства, характеризующемся массовым возведением большого количества взаимосвязанных и взаимодействующих между собой подземных объектов. В этом случае вмешательство в гидрогеологическую и геологическую среду может проследиваться на десятки квадратных километров по площади и километры по глубине. Достаточно только сказать, что в Москве и Московской области под воздействием техногенных факторов, в том числе интенсивного подземного строительства, происходит заметное изменение гидрогеологических условий как на территории города, так и за его пределами. При этом развивается гравитационное и динамическое уплотнение грунтов, наблюдаются проявления современных тектонических движений и изменение сейсмических характеристик грунтового массива, причём это воздействие может проявляться на глубинах до 1,5–2 км от дневной поверхности [157].

В настоящее время в Москве принята к реализации *Городская программа подготовки к комплексному градостроительному освоению подземного пространства г. Москвы на период 2009–2011 гг.*, в разработке которой принимал активное участие Московский государственный строительный университет. В рамках ряда работ, выполненных МГСУ по заказу Правительства Москвы, проводились научные исследования, результаты которых представлены в предлагаемой монографии.

В монографии рассмотрены следующие вопросы:

- краткий исторический обзор освоения подземного пространства и развития подземного строительства как за рубежом, так и в нашей стране, в частности в г. Москве;



- анализ международного опыта в области подземного строительства и возможностей его использования при освоении подземного пространства г. Москвы;

- перечень основных социально-экономических, градостроительных, стратегических задач, решение которых может быть обеспечено путём комплексного освоения подземного пространства крупных городов;

- рассмотрение и классификация существующих типов сооружений, возводимых в подземном пространстве мегаполисов;

- обзор современных отечественных и зарубежных технологий подземного строительства, учитывая их применение в инженерно-геологических, гидрогеологических и градостроительных условиях освоения подземного пространства г. Москвы;

- анализ влияния строительных технологий при интенсивном освоении подземного пространства на геоэкологическую и техногенную среду мегаполиса и возможные пути минимизации последствий этого влияния;

- взаимосвязь объемно-планировочных и конструктивных решений, принимаемых при строительстве подземных сооружений в различных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, с технологией их возведения.

При работе над монографией использовались как авторские разработки, так и многочисленные зарубежные и отечественные литературные источники. В частности, при написании четвёртой и седьмой глав во многом использовались материалы, представленные в работах [2] и [148], которые частично основаны на результатах исследований, выполненных руководившим в течение многих лет кафедрой подземного строительства и гидротехнических работ МГСУ, профессором, доктором техн. наук В.М. Мостковым, а также известным специалистом в области подземного строительства, сотрудником кафедры, профессором, доктором техн. наук С.А. Юфиным.

Авторы искренне благодарят Первого заместителя председателя правления Тоннельной ассоциации России, канд. техн. наук, Заслуженного строителя РФ С.Н. Власова и директора НИЦ «Метро и тоннели» профессора, доктора техн. наук В.Е. Меркина за ценные замечания, которые они сделали после прочтения рукописи и которые позволили сделать изложение предлагаемой читателю монографии более точным и полным.

Авторы также выражают глубокую благодарность доценту кафедры ПОГР МГСУ канд. техн. наук Е.В. Ламониной и инженеру Е.К. Конюховой за большую помощь, оказанную при сборе материала для написания книги и ее оформления.

# **ГЛАВА 1. КРАТКИЙ ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПОЛОЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА**

## **1.1. Освоение подземного пространства крупных городов как необходимое условие их дальнейшего развития**

В последние годы наблюдается рост численности населения крупных городов мира, в некоторых странах доля городских жителей достигает уже 80% общей численности населения. Плотность населения в городах достигла 150 тыс. чел/км<sup>2</sup> и продолжает расти. В подобных условиях резко обострились проблемы развития мегаполисов, особенно такие, как строительство жилья, создание транспортных сетей и инфраструктуры жизнеобеспечения. Одним из наиболее эффективных путей решения этих проблем является освоение подземного пространства.

Такие проблемы, как дефицит городских территорий, постоянный рост населения, скопление на дорогах больших масс транспортных средств, неспособность городской инфраструктуры справиться с постоянно возрастающими нагрузками и ухудшение экологической обстановки, требуют все более активного использования подземного пространства. В подземной части городов могут размещаться: промышленные, культурные, спортивные предприятия, транспортные и инженерные системы, объекты торговли и бытового обслуживания, склады и автостоянки и т.п. Согласно современным исследованиям в большинстве случаев подземные сооружения, несмотря на значительные затраты при их возведении, являются наиболее оптимальными решениями многих вопросов многофункциональности города.

Поэтому большинство крупных городов мира в настоящее время последовательно осуществляют программы освоения подземного пространства в своих исторических центрах города, при этом комплексно решаются проблемы транспорта, коммунального и жилого хозяйства, занятости населения, энергосбережения и т.д. В качестве примеров можно привести подземные кварталы в Монреале и Торонто, Токио и Осаке, систему автомобильных парковок и гаражей в Париже и Хельсинки, развивающиеся системы организации автомобильного движения в Осло и Бостоне и т.п.

Подземное пространство города включает: подземные транспортные сооружения, размещение промышленных предприятий и предприятий обслуживания населения, подземные городские сети и сооружения инженерного оборудования, сооружения специального назначения. Комплексное освоение подземного пространства характерно для крупных городов и городов-мегаполисов в основном в зонах общегородского центра и центрах муниципальных районов, в зонах наиболее важных транспортных узлов и пересечений, на территориях промышленного и коммунально-складского назначения. Одним из аспектов

комплексного освоения подземного пространства является рациональное использование наземной территории, в частности:

- строительство зданий и сооружений в условиях стесненной городской застройки;
- сохранение территории зеленых зон и мест отдыха, устройство в сложившейся застройке озелененных и благоустроенных участков;
- повышение художественно-эстетических качеств городской среды, сохранение исторически ценной территории;
- сохранение и восстановление уникальных объектов ландшафтной архитектуры;
- удобство доступности к наиболее важным объектам городского значения и местам трудовой деятельности горожан, экономия времени;
- улучшение транспортного обслуживания, повышение безопасности движения, снижение уличных шумов;
- сокращение числа и протяженности инженерных коммуникаций;
- защита населения в особый период и в периоды возможных природных и техногенных аварий и катастроф.

Во всех мировых столицах ведется активное освоение подземного пространства. Не является исключением и Москва. По сути дела, в настоящее время создается новая подземная инфраструктура города, в ходе проектирования и строительства которой необходимо учитывать целый ряд факторов, и прежде всего, влияние техногенных процессов на экологию подземного пространства и состояние гидрогеологической среды. Гиперконцентрация населения, инфраструктуры и промышленного производства приводит к огромной перегрузке геозекологической, инженерно-геологической и гидрогеологической среды крупных городов и вызывает в ней необратимые изменения. На территории Москвы под воздействием техногенных факторов развиваются гравитационное и динамическое уплотнение пород, сдвигание пород в массиве, гравитационные процессы, эрозия, гидростатическое взвешивание и сжатие рыхлых водовмещающих пород, механическая и химическая суффозия, а также возможное проявление современных тектонических движений и изменение сейсмических характеристик грунтовых массивов и отдельных их грунтовых составляющих. Наиболее активно воздействие города проявляется в поверхностных слоях земной коры на глубинах до 60–100 м, однако в отдельных случаях это воздействие может проявляться и на глубинах до 1500–2000 м от дневной поверхности [157]. Наиболее существенное влияние на геозекологическую среду оказывают: воздействие наземной техносферы города, создание подземных выработок, откачка подземных вод, нарушение инфильтрационного баланса грунтовых вод. Нарушение природного баланса грунтовых вод приводит к изменению напряженно-деформированного состояния грунтового массива и уплотнению грунтов в пределах депрессионных воронок, образующихся при водопонижении. Например, суммарная откачка подземных вод при строительстве и эксплуатации Московского метро-

политена изменяется от 10,8 до 180 м<sup>3</sup>/сут, что приводит к снижению уровня подземных вод до 30 м и более [192]. Это, в свою очередь, вызывает деформации дневной поверхности и становится причиной многочисленных аварийных ситуаций. За последние 30 лет в северо-западной части Москвы отмечено 42 карстовые воронки диаметром от 1–2 до 40 м и глубиной до 1,5–8 м. В этом районе выделено 10 зон ускоренного оседания земной поверхности. Например, в 1969 г. произошло разрушение 5-этажного жилого дома на Хорошевском шоссе, весной 1977 г. на проезжей части Хорошевского шоссе возник карстовый провал, диаметр которого за 2 месяца достиг 38 м, в результате чего было разрушено два пятиэтажных дома [243].

В настоящее время все известные карстовые воронки в северо-западной части Москвы сосредоточены на площади, составляющей порядка 1,7% городской территории. Здесь насчитывается 42 карстовые воронки, из которых детально изучено только 13 [157].

Около 3% территории города занимают районы с развитыми оползневыми процессами. По масштабам проявления они подразделяются на два типа:

- глубокие, характеризующиеся площадью 0,8–1,0 км<sup>2</sup> и глубиной проявления до 100 м. Таких участков в городе 15;
- поверхностные – площадью до 0,002 км<sup>2</sup> и глубиной проявления до 10 м. Таких участков в Москве насчитывается около 200.

За последние 10–15 лет количество оползней в городе увеличилось примерно в 2 раза. При этом глубокие оползни в отдельных районах Москвы перемещаются со скоростью от 5 до 30 см/год [128, 243].

Все вышеперечисленное свидетельствует о том, что на территории Москвы протекают значительные изменения геологической среды и природный ресурсный потенциал уже практически не в состоянии обеспечить свое самовосстановление. Примерно 48% территории города находится в районах геологического риска, 12% – в районах потенциального геологического риска и лишь 40% территории характеризуются как стабильные [157].

Отдельно необходимо остановиться на экологических проблемах мегаполиса. Это проблемы подробно рассмотрены авторами [192, 243], показавшими, что атмосферное загрязнение Москвы простирается на восток на 70–100 км, радиус депрессионной воронки от забора подземных вод достигает 100 км, тепловое загрязнение и нарушение режима выпадения атмосферных осадков прослеживается на расстоянии 90–100 км, угнетение лесных массивов – на 30–40 км. В целом экологически неблагоприятная обстановка характерна для всех городов с численностью населения свыше 1 млн чел., в 60% городов с населением от 500 тыс. до 1 млн чел. и в 25% городов с населением 250–500 тыс. чел. [243].

Территория Москвы в течение XX столетия увеличилась почти в 14 раз: с 71 км<sup>2</sup> в 1900 г. до 1000 км<sup>2</sup> в 2000 г. [156]. При этом застроенные кварталы занимают 53% площади города, из них 25% общей площади застроенных территорий занимают жилые кварталы, 33% – производственные территории, 20% –

общественные территории. На незастроенных территориях из 100% природно-рекреационные объекты занимают 42%, улицы и дороги – 27%, территории прочего назначения – 32% [157].

Наиболее неэффективно используются производственные территории. Средняя по Москве этажность промышленной застройки составляет 2 этажа, что в 2–3 раза ниже нормативной. Около 65% складских помещений располагаются в одноэтажных зданиях [192]. При этом, согласно данным ГУП НИиПИ Генерального плана Москвы [214], выраженное в процентах отношение площади подземной части сооружения к его общей площади для производственных территорий Москвы не превышает 3%. В то же время в жилой застройке для вновь возводимых зданий это соотношение в среднем составляет 26,1% [57].

Отдельная проблема – водоснабжение мегаполиса. В Москве расход воды составляет около 700 л воды в сутки на 1 жителя. В то же время примерно 2800 предприятий, расположенных на территории города, сбрасывают в канализацию порядка 720 тыс. м<sup>3</sup> сточных вод, из которых 250 предприятий сбрасывает сточные воды в поверхностные водные объекты. Под землю ежегодно сбрасывается до 500 тыс. м<sup>3</sup> воды, из которых около 50% составляют утечки из инженерных коммуникаций [192].

Система канализации Москвы состоит из двух независимых сетей:

- несколько независимых систем ливневой канализации для пропуска дождевых и талых вод, а также условно чистых вод промышленных предприятий;

- централизованной городской системы для приема и очистки бытовых сточных вод и поддающихся биологической очистке промышленных сточных вод.

Ежегодно канализация Москвы пропускает более 2200 млн м<sup>3</sup> сточных вод. Протяженность канализационных сетей города составляет 5882 км, из которых 900 км находятся в ветхом состоянии [192].

Естественная гидрографическая сеть Москвы насчитывала около 1000 различных водоемов и водотоков. В настоящее время сохранилось лишь 134 крупных водотока, из которых 39 имеют полностью открытое русло, а 95 водотоков полностью или частично переведены в подземные коллекторы. Остальные водоемы уничтожены в ходе градостроительной деятельности. При этом ни один из сохранившихся водоемов и водотоков не соответствует рыбохозяйственным нормативам [243]. Ливневые и талые воды, поступающие в эти водоемы, загрязнены взвешенными веществами, солями, нефтепродуктами и проч. [128].

Загрязнение подземных вод в Москве в основном происходит за счет [192]:

- разрушения старых водозаборных скважин (75% этих скважин пробурено и оборудовано более 30 лет назад) из-за проникновения в подземные воды каменноугольных водоносных горизонтов загрязненных поверхностных и подземных вод;

- утечек нефтепродуктов из подземных трубопроводов и резервуаров.

Важным фактором, ухудшающим условия проживания в мегаполисе, является шум. Причиной его возникновения в основном служит городской транспорт. В Москве в зонах повышенного уличного шума проживают более 3 млн. человек или около 30% населения. При этом за последние годы уровень шума на основных магистралях вырос на 5 дБ и составляет 78–82 дБ. Ширина зон акустического дискомфорта в дневные часы может достигать 700–900 м в зависимости от типа окружающей застройки [128, 192].

Поэтому среди большого количества объектов подземной инфраструктуры существенная роль отводится системам и сооружениям транспортного назначения. К их числу принято относить:

- объекты городского скоростного внеуличного пассажирского рельсового транспорта (метрополитен, скоростной трамвай, городская железная дорога);
- пересечения городских улиц и дорог в разных уровнях, транспортные тоннели, подводные тоннели, подземные пешеходные переходы и т.д.;
- объекты, связанные с хранением и обслуживанием автомобильного транспорта (гаражи для постоянного хранения автотранспорта, гостевые автостоянки-паркинги);
- многофункциональные, многоуровневые объекты и комплексы различного назначения, взаимосвязанные с наземными зданиями, а также сооружениями и устройствами транспортного назначения с различными формами использования подземного пространства в городах (вокзалы, торговые центры, станции метро и т.д.).

Известный специалист в области освоения подземного пространства, бывший в течение нескольких лет президентом Международной тоннельной ассоциации, А. Хаак в своем докладе «Политические и социальные аспекты настоящего и будущего тоннелестроения» на Конгрессе тоннельщиков в Осло в июне 1999 г. отмечал следующее: «Во избежание возможных недоразумений необходимо ясно заявить сейчас: мы не стоим за строительство тоннелей при любой стоимости. Однако не существует альтернативы сооружению тоннелей в большинстве случаев, когда дело касается транспортных связей и безопасного использования перенаселенных районов в больших городах. Это впечатляюще отражено чрезвычайно положительными примерами во многих городах Европы, Азии, Северной и Латинской Америки. Совершенно необязательно сооружать подземные системы скоростного транспорта в городах среднего размера. Вместо этого значительные улучшения могут быть достигнуты, если пустить общественный транспорт под землей только в центре города. В двух словах можно сказать, что развитие центральных районов во многих больших городах благодаря пропуску общественного пассажирского транспорта, так же как и важных автомобильных участков, под землей наглядно отражает положительный эффект от подземного строительства» [230].

Аналогичный подход высказывает также бывший президент Международной тоннельной ассоциации, главный исполнительный директор строительства тоннеля под Ла-Маншем Дж. К. Лемли: «Развивая «искусство возможного»,

максимально используя возможности технологии и человеческих ресурсов, наша профессия, может быть, представляет единственный шанс обустроить новый мир средствами подземного строительства» [113].

Во многих крупных городах транспортные пересечения в разных уровнях решены с использованием тоннелей. Использование подобного решения (в частности, тоннельного типа) позволяет упорядочить условия движения городского наземного транспорта, сокращает уровень транспортных шумов и загрязнения воздуха выхлопными газами автомобилей, снижает число дорожно-транспортных происшествий.

С подземными транспортными системами непосредственно связана еще одна градостроительная проблема – организация постоянного и временного хранения автомобильного транспорта. При решении этой проблемы необходимо сочетать различные приемы, максимально учитывая всю совокупность конкретных условий; применять новые технологии использования подземного пространства, являющиеся особенно перспективными для переуплотненных и реконструируемых центральных районов.

Комплексное использование подземного пространства ограничивает дальнейший рост территорий крупных городов и позволяет совместно решить ряд градостроительных, транспортных, инженерных и социально-экономических задач:

- создания предпосылок для рационального использования городских территорий путем высвобождения дневной поверхности от различных сооружений вспомогательного характера, в основном не связанных с постоянным пребыванием в них людей, и увеличения озелененных и обводненных пространств, формирования удобной, доступной и эстетически привлекательной городской среды;

- компактного размещения новых и развитие существующих административно-деловых комплексов, общегородских центров, учреждений обслуживания и других объектов массового посещения, в том числе в условиях плотной городской застройки;

- организации системы транспортного обслуживания населения, повышения скорости движения транспорта, создания компактных многоуровневых транспортно-пересадочных узлов;

- размещения технических и подсобно-вспомогательных сооружений и объектов инженерной инфраструктуры, хранения транспорта и т.п.;

- экономии до 30–50% топливно-энергетических ресурсов, а в холодильниках до 80% [44] (по сравнению с аналогичными наземными объектами), необходимых для отопления, кондиционирования воздуха, охлаждения продукции при ее хранении в подземных условиях;

- оздоровления городской среды за счет снижения уличного шума, загрязнения воздуха, повышения безопасности уличного движения.

Подобный подход, по данным НИиПИ Генплана г. Москвы, позволит разместить в подземном пространстве города до 70% от общего объема гаражей и автостоянок, до 80% складских помещений, до 50% архивов и хранилищ, до 20% промышленных предприятий и т.д. [214]).

Широкие возможности комплексного использования подземного пространства для размещения и сооружения объектов различного назначения диктуют необходимость исследования закономерностей и стратегии освоения подземного пространства, разработки и обоснования методологии проектирования подземных сооружений и комплексного подхода к их использованию. Для этого необходимо всестороннее, тщательное изучение и обобщение мирового опыта организации освоения подземного пространства больших городов, основанного на применении высоких технологий и на совершенствовании объемно-планировочных решений подземных сооружений нового поколения с учетом достижений архитектуры и строительного искусства. При этом обязательно должны учитываться психологические и физиологические особенности людей, работающих на подземных объектах, а также требования промышленной и экологической безопасности.

Актуальность проблемы освоения подземного пространства крупных и крупнейших городов подтверждается и большим числом публикаций на эту тему, особенно в последние годы. Все опубликованные работы можно разделить на следующие группы:

1) исторические обзоры и анализ состояния современного подземного строительства, в том числе [30, 32, 41, 42, 66, 86, 88, 121, 167, 169, 170, 192, 236, 240 и др.];

2) методологические подходы, стратегия и принципы освоения подземного пространства, включая [5, 18, 19, 86, 90, 91, 109, 119, 130, 166, 179, 237, 264, 278 и др.];

3) градостроительные, архитектурные, конструктивные и технологические решения отдельных сооружений [3, 12, 20, 31, 39, 40, 43, 44, 50, 53, 98, 100, 122, 124, 142, 146, 160, 168, 175, 197, 200, 229, 231, 233, 234, 244–254, 258, 259, 262, 264, 270, 277, 282, 283, 288 и др.];

4) комплексные инженерные изыскания, проектирование и технология подземного строительства, социально-экономическая оценка эффективности освоения подземного пространства [6, 10, 21, 22, 26, 33, 36, 40, 47, 61, 62, 68, 69, 74, 89, 92, 94, 100, 101–105, 112, 120, 131, 132, 142, 143, 145–147, 154–156, 159, 164, 178, 181, 182, 193, 198, 207, 215, 225, 226, 257 и др.];

5) геотехническое сопровождение подземного строительства [52, 65, 69–71, 87, 107, 183, 220, 224, 239 и др.];

6) экология подземного строительства [35, 80, 85, 86, 93, 94, 101, 102, 106, 152, 166, 193, 241, 243 и др.];

7) нормативное обеспечение освоения подземного пространства городов [72, 91, 110, 163].

Указанная выше литература позволяет получить достаточно полное представление о путях развития и состоянии подземного строительства в процессе освоения человечеством подземного пространства как за рубежом, так и в нашей стране, в частности, в Москве.





**Елена Анатольевна Король**

Инженер-строитель по специальности «Промышленное и гражданское строительство» (1985г.), кандидат технических наук по специальности «Строительные конструкции, здания и сооружения» (1990г.), доктор технических наук по специальности «Строительные конструкции, здания и сооружения» (2002г.).

С 2004г. – проректор по научной работе Московского государственного строительного университета, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, член-корреспондент Российской инженерной академии, профессор кафедры Технологии строительного производства МГСУ.

Автор более 90 научных и методических работ, в том числе 2 монографий и учебника.

---

Валерий Иванович **Теличенко**  
Михаил Григорьевич **Зерцалов**  
Дмитрий Сергеевич **Конюхов**  
Константин Юрьевич **Королевский**  
Елена Анатольевна **Король**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ  
ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ**

Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев*. Дизайн обложки: *Н.С. Романова*  
Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 16.01.10.  
Формат 70x100/16. Бумага офс. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. 22,5 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511  
тел., факс: (499) 183-56-83, e-mail: [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru), <http://www.iasv.ru/>