

А.З. Вартанов, И.В. Петров, А.В. Федаш

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕДР ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В МЕГАПОЛИСАХ И ЗОНАХ ГРАДОПРОМЫШЛЕННЫХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Выявлены особенности исследования недр при освоении подземного пространства в мегаполисах и зонах градопромышленных агломераций. Представлены наиболее опасные и часто наблюдаемые проявления геологических процессов при ведении подземных строительных работ в мегаполисах. Представлена систематизация объектов подземного городского строительства исходя из различных классификационных признаков. Подземные сооружения систематизированы по проектному потенциалу воздействия на экологическую составляющую внешней среды.

Приведены оценки размеров зоны влияния различных типов зданий и подземных сооружений, а также вариантов конструкции их основания как функции характерных размеров и глубины заложения. Определено, что для достоверной оценки взаимодействия подземного сооружения с окружающей средой и качественного планирования технических мероприятий по управлению этим взаимодействием, инженерно-геологические изыскания свойств и состояния среды городского подземного пространства уже сегодня следует выполнять на глубину 150 м и более.

Ключевые слова: геологические процессы, градопромышленные агломерации, зоны влияния, инженерно-геологические изыскания, исследование недр, окружающая среда, освоение подземного пространства в мегаполисах, подземные сооружения, экологическое воздействие.

Многочисленными и многолетними инженерно-геологическими изысканиями недр для целей строительства установлено, что на территории большинства городов России верхняя часть геологического разреза характеризуется весьма высокой неоднородностью свойств горных пород, сложностью строения массива, а также наличием активных геологических (гидрогеологических и геодинамических) процессов, имеющих потенциал негативного воздействия на безопасность и эффективность освоения подземного пространства. Указанные процессы имеют устойчивую тенденцию к усилению при антропогенных воздействиях на массив, в том числе при строительстве и эксплуатации подземных сооружений [9, 13, 15, 16].

К наиболее опасным и часто наблюдаемым проявлениям геологических процессов при ведении подземных строительных работ относят:

- проседание поверхности;
- карстообразование;
- образование плывунов;
- оползнеобразование;
- микросейсмические явления.

Поскольку степень активности геомеханических и гидрогеологических процессов определяется комплексом как природных, так и антропогенных причин, перечень их параметров, подлежащих выявлению и последующему контролю, достаточно разнообразен и зависит от конкретных условий. При этом, прогноз форм и масштабов проявлений таких процессов следует вести на основе мониторинга текущих

данных состояния, сопоставления их с исходными данными и оценки уровня антропогенного изменения массива, а также сравнения с критическими значениями характеристических признаков, соответствующими аварийным состояниям [5, 8, 11].

Активные геологические процессы в массиве горных пород развивающиеся (или возможные к развитию) в районе размещения подземного сооружения, включая зоны его влияния и близлежащие окрестности, определяют закладываемые в процессе проектирования сооружения конструктивные решения, а также комплекс мероприятий для обеспечения его долговременного безаварийного функционирования [1, 3, 4].

Отдельной крупной задачей при проектировании и строительстве подземных сооружений является защита от сейсмических явлений, а также возможных динамических проявлений горного давления при большой глубине заложения сооружений.

Массив горных пород при строительстве подземного сооружения на урбанизированных территориях реагирует на техногенное воздействие с учетом ранее принятых воздействий от строительных работ по возведению наземных зданий и сооружений, а также значительного воздействия смежных подземных сооружений и измененности состояния горного массива в результате нарушения регламента их эксплуатации [10].

На урбанизированной территории горные выработки – базовый элемент механизма взаимодействия подземного сооружения с горным массивом и изменениями природно-техногенных процессов в результате поверхностного и подземного воздействия. При создании таких объектов необходимо соблюдение принципов комплексного освоения недр с использованием ресурсосберегающих и ресурсоспроизводящих геотехнологий [17].

В сложившейся на сегодняшний день практике объекты подземного городского строительства делятся по следующему классификационным признакам:

- по функциональному назначению;
- по типу объемно-планировочного решения;
- по расположению относительно поверхности земли;
- по расположению и связи с наземной застройкой;
- по глубине заложения;
- по форме поперечного сечения;
- по экологическому взаимодействию подземного объекта с внешней средой;
- по методам возведения.

По назначению подземные сооружения подразделяют на:

1. Транспортные – пешеходные, автотранспортные и железнодорожные тоннели, метрополитены и т.д.

2. Инженерные – тепловые, газовые, электрические и водопроводные и канализационные сети, нефте- и топливопроводы, водозаборные сооружения и т.д.

3. Общественные – предприятий коммунально-бытового обслуживания, торговли и общественного питания, складские, спортивные и зрелищные сооружения и т.д.

4. Промышленные – подземные элементы различных технологических установок и производственные корпуса некоторых отраслей промышленности.

5. Энергетические: подземные комплексы электростанций и трансформаторных подстанций, шинные и кабельные коллекторы.

6. Хранилища нефти и газа, хранилища отходов, холодильники.

7. Специального и научного назначения: ускорители заряженных частиц, тоннели для аэродинамических испытаний, военные объекты, сооружения гражданской обороны и проч.

По расположению городские подземные сооружения делят на сооружения под застроенной и под временно незастроенной территориями. Первые, в свою очередь, разделяют на:

- изолированные от зданий и сооружений;
- встроенные (подземные сооружения, совмещенные с подвальными этажами здания);
- пристроенные (расположенные рядом со зданиями и присоединенные к ним подземными проездами и переходами);
- встроенно-пристроенные.

По глубине заложения H подземные сооружения подразделяют на сооружения:

- мелкого заложения, $H < (2\div 3) \cdot B$, где B – наибольший пролет или высота поперечного сечения выработки;
- глубокого заложения, $H > (2\div 3) \cdot B$.

Классификацию сооружений по методам их проходки можно свести к следующему списку: открытый, горный, опускной, шитовой, механизированный способ и способ продавливания. В сложных инженерно-геологических условиях (слабые грунты, пльвуны и т.д.) применяются специальные методы закрепления грунтов: искусственное замораживание, цементация, химическое закрепление и прочие.

По проектному потенциалу воздействия на экологическую составляющую внешней среды подземные сооружения разделяют на:

- сооружения, необходимость возведения которых определяется директивно, без учета их возможного взаимодействия с внешней средой (объекты специального назначения, гражданской обороны, некоторые транспортные тоннели);
- сооружения, при проектировании и строительстве которых экологические факторы учитываются в неявном виде (большинство транспортных

тоннелей и метрополитенов, различные хранилища и т.п.);

- сооружения, при проектировании и строительстве которых максимально учитывается взаимодействие подземного объекта и природной среды (Манежная площадь, Москва-Сити, современные линии метрополитенов);
- объекты, возведенные с целью минимизации влияния вредных факторов на окружающую среду (хранилища агрессивных и вредных веществ, отходов, современные автотранспортные тоннели);
- сооружения экологического назначения (системы альтернативного тепло- и энергоснабжения, использующие энергию недр).

Исходя из классификационного направления использования и вида подземного сооружения, а также способа его строительства и степени взаимодействия с окружающей средой и инфраструктурными объектами градопромышленной агломерации необходимо наличие исчерпывающего перечня лицензионно разрешительных документов [20] и регламентирующих методик и нормативов [14].

Несмотря на многообразие видов, степень и масштаб влияния подземных сооружений и подземных частей наземных зданий на состояние окружающей геологической среды мегаполисов и зон градопромышленных агломераций в значительной степени зависит от их габаритов, конструктивного решения основания и ограждающих конструкций и глубины заложения. В таблице приведены оценки размеров зоны влияния различных типов зданий и подземных сооружений, а также вариантов конструкции их основания как функции характерных размеров и глубины заложения [Рубан А.Д.].

Особенностью современного этапа развития крупных городов является увеличение доли высотного строительства жилых, общественных и про-

Размеры зоны влияния зданий и подземных сооружений мегаполисов и зон градопромышленных агломераций на окружающую среду

Тип объекта		Тип фундамента или несущих конструкций сооружения	Глубина заложения, H м	Зона влияния*	
Здания	Жилые массовых серий	Ленточный Свайный Монолитная плита	2...4 8...12 3...10	По глубине – $3H$, в плане – $a+3H$; $b+3H$, где a и b – соответственно ширина и длина основания.	
	Жилые высотные с подземными этажами	Свайный Монолитная плита Комбинированный свай+плита	12...30 4...12 4...30		
	Общественные	Свайный Монолитная плита Комбинированный свай+плита	12...30 4...12 4...30		
	Промышленные	Свайный Ленточный	12...30 2...4		
Подземные сооружения	Котлованные	Культурно-бытового назначения	Монолитная плита Комбинированный свай+плита	10...40 16...50	То же
		Автостоянки	То же	То же	
		Пешеходные залы	То же	То же	
		Многофункциональные	То же	То же	
Подземного типа	Камерного типа	Культурного и спортивного назначения		До 100	По глубине около $H+3D$, где D – диаметр выработки
		Производственно-складского назначения	То же	До 100	
Подземные сооружения	Камерного типа	Транспортные сооружения	То же	150 и более	
		Инженерные (канализация, водопровод, энергетика)	Монолитный или сборный железобетон	150 и более	
	Тоннели и штольни	Автотранспортные	Монолитный или сборный железобетон, чугунные тубинги	150 и более	То же
		Железнодорожные и метрополитена		150 и более	
		Инженерные (канализация, водопровод, энергетика)		150 и более	
		Специальные	То же	150 и более	
Стволы	Вентиляционные	То же	150 и более	По глубине около $H+3D$, где D – диаметр выработки, H – длина выработки, в плане $3D$	

* В каждом конкретном случае требуется уточнение в связи с неоднородностью горных пород основания и возможных суперпозиций полей напряжения.

мышленных зданий с одновременным увеличением количества подземных этажей (и размещением в них разнообразных помещений технического и социального назначения). При этом, существенно увеличиваются степень и глубина (100 м и более) геомеханического влияния таких зданий на массив оснований. Так, например, для высотных зданий комплекса Москва-Сити глубины котлованов достигают 35–40 м, а длина буронабивных свай оснований превышает 20 м.

Увеличение глубины заложения до 100 м характерно также и для всех типов подземных сооружений. Примером могут служить системы коллекторов глубокого заложения для размещения объектов водоснабжения и водоотведения, энергетического назначения и т.д., некоторые линии метрополитена, крупные торговые и

развлекательные комплексы и иные подземные сооружения как линейного, так и камерного типов.

Поэтому для достоверной оценки взаимодействия подземного сооружения с окружающей средой и качественного планирования технических мероприятий по управлению этим взаимодействием, инженерно-геологические изыскания свойств и состояния среды городского подземного пространства уже сегодня следует выполнять на глубину 150 м и более [2, 6, 7].

При освоении подземного пространства в мегаполисах и зонах градопромышленных агломераций необходимо учитывать особенности исследования недр, которые должны учитываться проектировщиками на начальной предпроектной стадии строительства подземных сооружений [18, 19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вартанов А.З., Гладун Ю.В., Федоров Е.В. Опыт внедрения природосберегающих бестраншейных технологий прокладки инженерных коммуникаций в условиях города / Рациональное природопользование. – М.: Maxima, 2005. – С. 213.
2. Вартанов А.З., Рубан А.Д., Захаров В.Н., Ковпак И.В. Геоконтроль и геомеханическое обеспечение задач освоения подземного пространства города Москва. Сборник трудов Международной научно-практической конференции по вопросам освоения подземного пространства города Москвы. – М.: ЗАО «Мир», 2008. – С. 48–53.
3. Вартанов А.З., Ковпак И.В., Титов Н.Е. Геофизические исследования геометрических характеристик сооружений типа «стена в грунте» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 9. – С. 130–135.
4. Вартанов А.З., Ковпак И.В., Титов Н.Е. Геоконтроль при шитовой проходке коллекторов неглубокого заложения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 8. – С. 151–157.
5. Вартанов А.З., Рубан А.Д., Шкуратник В.Л. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг. – М.: Горная книга, 2009. – 640 с.: илл.
6. Вартанов А.З., Рубан А.Д., Ковпак И.В. Методология формирования и применения геолого-геофизических моделей в целях геоконтроля при освоении подземного пространства мегаполисов // Горный журнал. – 2010. – № 4. – С. 22–28.
7. Вартанов А.З. Геофизические изыскания в условиях мегаполиса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 8. – С. 174–180.
8. Вартанов А.З. Физико-технический контроль и мониторинг при освоении подземного пространства городов. – М.: Горная книга. – 2013. – 548 с.: илл.
9. Демин А.М., Иофис М.А., Гришин А.В. К вопросу об освоении подземного пространства Москвы // Инженерные изыскания. – 2010. – № 6. – С. 18–20.
10. Захаров В.Н., Малинникова О.Н., Ковпак И.В., Филиппов Ю.А. Геопространственное моделирование взаимодействия высотных зданий и сооружений с массивом горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 6. – С. 187–192.
11. Захаров В.Н., Малинникова О.Н., Вартанов А.З., Федаш А.В., Петров И.В., Ахмедгареев Р.А. Исследования, мониторинг и контроль строения и свойств недр мегаполи-

сов и зон градопромышленных агломераций. Часть I. Общие правила производства работ: Методические рекомендации. – М.: ИПКОН РАН. – 2015. – 88 с.

12. Иофис М.А., Гришин А.В. Развитие методов оценки влияния горных работ на подрабатываемые здания и сооружения // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 1. – 2012. – С. 90–96.

13. Иофис М.А. Проблемы комплексного освоения территорий и подземного пространства крупных городов и пути их решения // Маркшейдерский вестник. – 2006. – № 4. – С. 20.

14. Картозия Б.А., Корчак А.В., Левченко А.Н., Федунец Б.И., Дмитриев А.Н. О перспективах разработки нормативных документов по освоению городского подземного пространства // Метро и тоннели. – 2007. – № 4. – С. 4.

15. Рудяк М.С., Умнов В.А. Анализ особенностей городского подземного пространства как вида ресурсов недр // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 2. – С. 5–6.

16. Трубецкой К.Н., Иофис М.А. Состояние и проблемы освоения подземного пространства города Москвы // Маркшейдерский вестник. – 2007. – № 4. – С. 27–30.

17. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсостроительных геотехнологий комплексного освоения недр Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 116–124.

18. Федаш А.В. Алгоритм оценки качества проектов угледобывающих предприятий // Уголь. – 2012. – № 11 (1040). – С. 70–74.

19. Федаш А.В. Анализ состояния и направления совершенствования системы проектирования угледобывающих предприятий // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2011. – № 1. – С. 4–11.

20. Хелая И.Т., Петров И.В. Лицензирование недродопользования // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2010. – № 1. – С. 69–75. **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Вартанов Александр Зараирович – кандидат технических наук,

Петров Иван Васильевич – доктор экономических наук, профессор,

Федаш Анатолий Владимирович – доктор технических наук, профессор,

Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

UDC 624.1

MAIN TRENDS IN UNDERGROUND CONSTRUCTION AND EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES AND CITIES FEATURES OF THE STUDY OF MINERAL RESOURCES IN THE DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACE IN METROPOLITAN AREAS AND ZONES OF INDUSTRIAL AGGLOMERATIONS IN CITIES

Vartanov A.Z.¹, Candidate of Technical Sciences,

Petrov I.V.¹, Doctor of Economical Sciences, Professor,

Fedash A.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

Features of research of a subsoil at development of underground space in megalopolises and zones are revealed the gradopromyshlennykh of agglomerations. The most dangerous and often observed manifestations of geological processes when conducting underground construction works in megalopolises are presented. Systematization of objects of underground city construction proceeding from various classification signs is presented. Underground constructions are systematized on the design potential of impact on an ecological component of environment.

Estimates of the sizes of a zone of influence of various types of buildings and underground constructions, and also options of a design of their basis as functions of the characteristic sizes and depth of a zalozheniye

are given. It is defined that for a reliable assessment of interaction of an underground construction with environment and high-quality planning of technical actions for management of this interaction, engineering-geological researches of properties and a condition of the environment of city underground space should be carried out on depth of 150 m and more already today.

Key words: geological processes, industrial agglomerations, zones of influence, geological engineering, the study of mineral resources, the environment, development of underground space in metropolitan areas, underground structures, the environmental impact.

REFERENCES

1. Vartanov A.Z., Gladun Yu.V., Fedorov E.V. *Ratsional'noe prirodopol'zovanie* (Environmental management), Moscow, Maxima, 2005, pp. 213.
2. Vartanov A.Z., Ruban A.D., Zakharov V.N., Kovpak I.V. Geokontrol' i geomekhanicheskoe obespechenie zadach osvoeniya podzemnogo prostranstva goroda Moskva. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po voprosam osvoeniya podzemnogo prostranstva goroda Moskvy* (Geocontrol and geomechanical maintenance tasks development of underground space Moscow. Proceedings of the International scientific and practical conference on the development of underground space in Moscow), Moscow, ZAO «Mir», 2008, pp. 48–53.
3. Vartanov A.Z., Kovpak I.V., Titov N.E. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 9, pp. 130–135.
4. Vartanov A.Z., Kovpak I.V., Titov N.E. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 8, pp. 151–157.
5. Vartanov A.Z., Ruban A.D., Shkuratnik V.L. *Metody i pribory kontrolya okruzhayushchey sredy i ekologicheskoy monitoring* (Methods and tools for environmental control and environmental monitoring), Moscow, Gornaya kniga, 2009, 640 p.
6. Vartanov A.Z., Ruban A.D., Kovpak I.V. *Gornyy zhurnal*. 2010, no 4, pp. 22–28.
7. Vartanov A.Z. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 8, pp. 174–180.
8. Vartanov A.Z. *Fiziko-tekhnicheskyy kontrol' i monitoring pri osvoenii podzemnogo prostranstva gorodov* (Physical and technical control and monitoring during the development of underground space of cities), Moscow, Gornaya kniga, 2013, 548 p.
9. Demin A.M., Iofis M.A., Grishin A.V. *Inzhenernyye izyskaniya*. 2010, no 6, pp. 18–20.
10. Zakharov V.N., Malinnikova O.N., Kovpak I.V., Filippov Yu.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008, no 6, pp. 187–192.
11. Zakharov V.N., Malinnikova O.N., Vartanov A.Z., Fedash A.V., Petrov I.V., Akhmedgareev R.A. *Issledovaniya, monitoring i kontrol' stroeniya i svoystv nedr megapolisov i zon gradopromyshlennykh aglomeratsiy. Chast' I. Obshchie pravila proizvodstva rabot: Metodicheskie rekomendatsii* (Research, monitoring and control of the structure and properties of subsurface areas and megacities industrial agglomerations. Part I. General rules of works: Guidelines), Moscow, IPKON RAN, 2015, 88 p.
12. Iofis M.A., Grishin A.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 1. 2012, pp. 90–96.
13. Iofis M.A. *Marksheyderskiy vestnik*. 2006, no 4, pp. 20.
14. Kartoziya B.A., Korchak A.V., Levchenko A.N., Fedunets B.I., Dmitriev A.N. *Metro i tonneli*. 2007, no 4, pp. 4.
15. Rudyak M.S., Umnov V.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2003, no 2, pp. 5–6.
16. Trubetskoy K.N., Iofis M.A. *Marksheyderskiy vestnik*. 2007, no 4, pp. 27–30.
17. Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2012, no 4, pp. 116–124.
18. Fedash A.V. *Ugol'*. 2012, no 11 (1040), pp. 70–74.
19. Fedash A.V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2011, no 1, pp. 4–11.
20. Khelaya I.T., Petrov I.V. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2010, no 1, pp. 69–75.

