

№1, 1999

Проблемы геоэкологической безопасности освоения и использования подземного пространства мегаполисов (на примере Санкт-Петербурга)

Дашко Р.Э.

Современные тенденции развития мегаполисов предполагают интенсивное освоение их подземного пространства с целью размещения коммуникаций различного назначения, в том числе инженерных и транспортных, культурных и торговых комплексов, ряда хозяйственных и сервисных служб и др.

В настоящее время подземное пространство рассматривается как природный ресурс, цивилизованное использование которого в значительной степени улучшает среду обитания человека, позволяет максимально сохранить природные ландшафты и архитектурно-исторический облик городов.

Многоуровневое использование подземного пространства создает необходимые предпосылки для выработки схемы компактной застройки города с эффективными полифункциональными связями.

При разработке стратегии освоения и использования подземного пространства мегаполисов принципиальное значение имеет анализ его геоэкологического состояния. При этом в ходе геоэкологической оценки подземного пространства необходимо рассматривать совокупность и взаимную обусловленность процессов трансформации природной лито-, гидро- и биосферы под воздействием инженерных работ, функционирования наземных и подземных сооружений с учетом особенностей их строительства и эксплуатации, приводящих к изменению напряженного состояния, термодинамической и гидродинамической обстановки массивов горных пород, периодической или постоянной их контаминации.

Основными предпосылками для обоснования экологической концепции освоения подземного пространства городов должны служить следующие положения: 1) создание для человека в городском подземном сооружении наиболее комфортных условий труда, отдыха и передвижения; 2) строительство и эксплуатация подземных сооружений не должны наносить материальный и эколого-социальный ущерб городской инфраструктуре; 3) размещение в подземном пространстве объектов, которые могут вызывать отрицательное воздействие на окружающую среду, не должно сопровождаться дополнительным его загрязнением (проблемы захоронения отходов).

Обычно при решении задач освоения подземного пространства городов игнорируется факт его значительной техногенной эволюции за период существования мегаполиса, а также особенностей его комплексного развития во времени и пространстве. Характер и интенсивность такой эволюции во многом определяется геолого-структурным положением города, его инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, а также спецификой и длительностью техногенной нагрузки в пределах мегаполиса.

Как известно, Санкт-Петербург расположен в тектонически напряженной зоне сочленения Балтийского щита и Русской плиты, что проявляется в существовании достаточно высокой степени сгущения тектонических разломов различного порядка и простирания, в основном, северо-западного, северо-восточного и субширотного, реже субмеридионального направлений. Большая часть разломов относится к числу активных, перемещения отдельных

крупных тектонических блоков составляет от долей до 2 мм в год [1, 3, 4]. Активность таких разломов подтверждается наличием тепловых аномалий, газовых эманаций, поступлением радионуклидов в почвы, подпочвенные слои, подземные воды, а также в приповерхностную часть атмосферы города. Вполне понятно, что опасность радиоактивного загрязнения, главным образом за счет радона, значительно увеличивается при возрастании глубины размещения подземных сооружений, что необходимо учитывать в разработке стратегии геозкологической безопасности использования подземного пространства. Особенности структурно-тектонического расположения Санкт-Петербурга определяют также проблему вероятности возникновения разрушительных землетрясений в этом регионе, четкое и определенное решение которой в настоящее время отсутствует. Проблема сейсмических явлений в Санкт-Петербургском регионе с учетом их катастрофических последствий весьма актуальна и важна, однако ее решение требует значительных материальных затрат на реализацию длительного специализированного мониторинга на оборудованных полигонах. По мнению ряда геологов ГПП “Севзапгеология”, разрушение тоннелей метрополитена на площади Мужества обусловлено малоамплитудными колебаниями в узле региональных тектонических разломов северо-восточного и северо-западного направлений, которые отчетливо фиксируются с помощью геофизических методов [4]. Наличие в верхней части разреза подземного пространства Санкт-Петербурга слабых водонасыщенных песчано-глинистых отложений провоцирует рост сейсмической активности территории как естественной, так и наведенной. Эффект последней неоднократно фиксируется при забивке свай, длительном воздействии динамических и вибрационных нагрузок, проведении взрывных работ и др.

С тектоническими разломами связана специфика подземного рельефа коренных пород осадочного чехла венда и нижнего кембрия, что выражается в существовании погребенных долин различной глубины и протяженности, общая площадь которых на территории Санкт-Петербурга составляет около 30%. Наиболее глубокие палеодолины прослеживаются на Васильевском острове (в районе р. Смоленки), а также в пределах зоны площади Мужества. В палеодолинах отмечается максимальная мощность (до 120 м) обводненных четвертичных песчано-глинистых отложений, содержащих напорные воды. В разрезе погребенных долин обычно отмечается присутствие отложений, склонных к проявлению пльвинных и тиксотропных свойств, что существенно затрудняет проходку в них подземных выработок и требует применения специальных технологий.

Кроме того, необходимо отметить, что коренные песчано-глинистые породы в зонах тектонических разломов имеют высокую степень трещиноватости, определяющую повышенную газо- и водопроницаемость, а также активное вывалообразование в процессе проведения подземных работ. Так, например, формирование вывалов больших объемов наблюдалось при строительстве станции метро “Достоевская” в районе Владимирской площади, что привело к образованию мульды проседания дневной поверхности и, соответственно, разрушению зданий, имеющих культурную и историческую ценность.

При освоении подземного пространства Санкт-Петербурга следует принимать во внимание, что скальные породы фундамента архей-нижнепротозойского возраста (наиболее прочные и устойчивые к техногенным воздействиям) залегают на глубине более 180-220 метров, размещения сооружений, в которых в большинстве случаев невыгодно. Относительно прочные коренные осадочные породы венда (котлинские глины) и нижнего кембрия, залегающие на кристаллическом фундаменте, служат средой размещения подземных транспортных сооружений, а также рассматриваются как массивы для захоронения промышленных и радиоактивных отходов в Санкт-Петербургском регионе. Наличие трещиноватости в этих породах требует пересмотра концепции их надежности как среды для захоронения, поскольку трещиноватость и соответственно повышенная водопроницаемость глинистых толщ будет вызывать загрязнение некоторых водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения в Санкт-Петербургском регионе.

Кроме того, как показали исследования, проведенные в СПбГГИ, глинистые породы нижнего кембрия, а также венда, неустойчивы в агрессивных кислых и щелочных стоках. Разрушение глинистых минералов приводит к исчезновению положительных “экологических” свойств тонкодисперсных пород, таких как их низкая проницаемость и сорбционная способность, что способствует резкому снижению эффекта самоочищения и саморегуляции геологической среды и развитию фронта загрязнения в подземной гидросфере.

Характерной особенностью разреза четвертичных отложений города является наличие генетически неустойчивых дисперсных пород, имеющих высокую степень уязвимости по отношению к техногенным воздействиям, а также присутствие погребенных торфяников и песчано-глинистых отложений с достаточно высоким содержанием органического вещества и разнообразной микрофлорой. Подобная специфика разреза определяет формирование активных физико-химических и биохимических процессов в обводненной толще.

В разрезе подземного пространства Санкт-Петербурга прослеживаются от 6 до 8 разномановых водоносных горизонтов, приуроченных к четвертичным отложениям и коренным породам. Отсутствие зон активного дренирования верхних водоносных горизонтов в пределах островной части города за счет наличия набережных и шпунтовых ограждений как берегов Невы, так и многочисленных рек и каналов предопределяют застойный гидродинамический и гидрохимический режим, что ускоряет процессы их загрязнения и способствует формированию анаэробных условий, особенно, если в разрезе присутствует природная и техногенная органика. Последнее положение подтверждается результатами замеров величин окислительно-восстановительного потенциала (Eh) в грунтовых водах: в пределах островной части города максимальные значения Eh не превышали +63 мВ, а минимальные составляли –110 мВ и менее. Как известно, в условиях бескислородной среды происходит активная электрохимическая коррозия стальных и чугунных конструкций. Следует иметь в виду, что изменение гидродинамических условий водоносных горизонтов влечет за собой варьирование напряженного состояния в толще пород. Снижение напоров приводит к существенному росту эффективных напряжений, что определяет уплотнение песчано-глинистых пород и деформации наземных и подземных сооружений. Повышение уровней создает условия для роста поровых давлений, развитию процессов пучения глинистых пород, в которых расположены подземные выработки, и, как следствие, подъем полов на ряде станций метрополитена.

По уровню особо негативного и длительного воздействия на экологическое состояние подземного пространства Санкт-Петербурга следует выделить влияние канализационной сети. Начиная с предистории города (17 век) и до настоящего времени канализационно-бытовые стоки служили основным загрязнением подземной лито- и гидросферы, а также поверхностных вод. Мало известно, что региональная канализационная система города начала вводиться в эксплуатацию только в середине 30-х гг. нашего столетия. В течение почти 200 лет эти стоки сбрасывались практически без очистки в речную сеть города и каналы. К началу 1950 г. в городе оставалось свыше 80 тысяч выгребных ям, из которых наблюдались перманентные утечки. В настоящее время состояние канализационной сети нельзя признать удовлетворительным: из 6000 км уличных сетей 900 км требует полной замены, 2000 км имеют постоянные протечки [2]. Влияние загрязнения подземного пространства за счет утечек канализационной сети может прослеживаться на глубину более 50 метров (Васильевский остров).

Длительность и непрерывность воздействия канализационно-бытовых стоков способствует глубокому преобразованию химического состава подземных вод, а также негативным изменениям состояния и свойств водовмещающих пород. В толще отложений загрязненных канализационно-бытовыми стоками наблюдается формирование восстановительной среды за счет окисления органического вещества. Ускоряет и усугубляет подобную трансформацию подземной среды повсеместное загрязнение территории города нефтепродуктами, а также

существование захороненных свалок бытового мусора и отходов производства, жидкая фаза которых обычно обогащена органическими соединениями. Привнос в обводненные дисперсные породы микробиты с канализационными стоками и жидкой фазой бытовых отходов, а также одновременное поступление разнообразных органических и неорганических соединений, служащих питательными субстратами для микроорганизмов, а также продуктов их метаболизма белковой и небелковой природы, которые сорбируются на минеральных частицах дисперсных пород. Накопление биомассы приводит пески в состояние пльвунов, а глинистые породы – в набухающие квазипластичные разности. Глинистые породы при взаимодействии с канализационными стоками в большинстве случаев переходят в текучее состояние [1].

Активная микробиологическая деятельность в анаэробных условиях часто приводит к образованию биохимических газов, увеличивая тем самым опасность перехода водонасыщенных песчано-глинистых пород в подвижное состояние, а также способствуя их разуплотнению. В последние годы отмечается активная активизация метанообразования в пределах исторического центра, в Красногвардейском и Фрунзенском районах, сопровождающаяся выбросом газонасыщенных разжиженных пород, самовозгоранием метана, накоплением газа в подвалах зданий.

В настоящее время в пределах территории Санкт-Петербурга могут быть выделены обширные зоны природного и природно-техногенного биохимического газогенерирования как в коренных породах, так и в четвертичных отложениях. Такое газовыделение фиксировалось и осложняло проходку шахтных стволов, эскалаторных и перегонных тоннелей метрополитена, а также отмечалось при строительстве подземных сооружений неглубокого заложения (подземный переход у Гостиного двора).

Следует также принимать во внимание, что генерация газов вызывает существенные изменения напряженно-деформированного состояния в толщах песчано-глинистых пород.

Прогрессирующее ухудшение экологической обстановки в подземном пространстве города сопровождается не только негативной трансформацией состояния и свойств грунтов, но и повышением уровня агрессивности подземной среды по отношению к строительным материалам, используемым в подземных конструкциях и инженерных коммуникациях.

Специфическая агрессивная среда, формирующаяся в подземном пространстве Санкт-Петербурга, способствует развитию биокоррозии. По данным современных микробиологических исследований биокоррозия вызывается бактериями, грибами и актиномицетами, причем деятельность этих организмов, в большинстве случаев, сопутствует и усиливает химическое, электрохимическое и другие виды коррозионного разрушения материалов. Известно, что 50 % всех потерь от коррозии подземных сооружений на городских территориях происходит именно за счет биокоррозии. Этому виду коррозии подвержены бетоны, железобетоны и металлические конструкции, используемые для строительства подземных сооружений, в том числе тоннелей метро, крупных канализационных коллекторов и других инженерных коммуникаций.

Важно отметить, что биодegradация строительных материалов не учитывается действующими строительными нормами.

С учетом сказанного, при освоении подземного пространства мегаполисов в условиях нарастающей напряженности и ухудшения экологической ситуации особое внимание должно быть уделено проблеме выбора строительных материалов, устойчивых в условиях высокой агрессивности среды и обеспечивающих надежность эксплуатации подземных сооружений и коммуникаций. Строительство, эксплуатация, реконструкция и реставрация подземных сооружений в сложной геологической обстановке требует индивидуального подхода и

проведения комплексных нетривиальных исследований по специально разработанным программам. Только на основе таких исследований может быть гарантирована надежность принимаемых решений и обеспечение долговечности всех типов городских, промышленных, транспортных сооружений, а также памятников культуры и архитектуры.

Литература

1. Дашко Р.Э., Норова Л.П., Руденко Е.С. Эволюция геоэкологического состояния подземного пространства Санкт-Петербурга // Разведка и охрана недр, 1998, №7-8, с. 57-59.
2. Карамазинов Ф.М., Гумен С.Г. Проблемы водопроводно-канализационного хозяйства Санкт-Петербурга // Научные и технические аспекты окружающей среды, ВИНТИ, 1995, №3, с. 24-28.
3. Мельников Е.К., Рудник В.А., Мусийчук Ю.И., Рымарев В.И. Патогенное воздействие зон активных разломов земной коры Петербургского региона // Геоэкология, 1994, №4, с. 52-69.
4. Пекельный В.И., Малов Н.Д., Дверницкий Б.Г., Матюхов Р.А. Роль геодинамического фактора в развитии аварийной ситуации в Петербургском метро // Разведка и охрана недр, 1998, №7-8, с. 60-62.