Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1984, т. 100

УДК 624.131

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ЛЕНИНГРАДА

А.В.КУЗЬМИН

Непрерывный рост территорий и численности населения крупных и крупнейших городов выдвигает перед градостроителями все более сложные задачи. Среди них особо остро стоят следующие: строгая экономия дефицитных городских земель; резкое улучшение работы городского транспорта; повышение безопасности городского движения; обеспечение реконструкции исторически сложившихся районов и центров городов, сохранение памятников культуры и всей опорной капитальной застройки и природного окружения [1]. Многие из этих задач могут быть успешно решены при условии широкого и планомерного использования подземного пространства - весьма перспективного направления современного градостроительства.

Для Ленинграда градостроительное освоение его недр является весьма актуальным. Развитие города приблизилось к своим естественным пределам; в центральных районах возник сложный узел транспортных проблем; именно здесь ощущается дефицит территории для расширения существующих и строительства новых объектов различного назначения. Об этом свидетельствуют многие факты, в том числе результаты экономической оценки городских территорий, показывающие, что гектар поверхности в районе Невского проспекта "стоит" около 2 млн.руб. и здесь выгоднее новое сооружение опустить под землю [5]. Однако до сих пор подземное пространство Ленинграда осваивается недостаточными темпами, особенно в части строительства пешеходных и транспортных тоннелей, подземных гаражей и автостоянок, проходных коллекторов для прокладки магистральных инженерных коммуникаций. Наметилась необходимость разработки долгосрочной программы комплексного освоения недр города. В соответствии с этим уже определены главные направления и принципы освоения подземного пространства Ленинграда, выделены основные группы городских подземных сооружений, проведено вертикальное зонирование подземного пространства по размещению основных групп и типов сооружений, обоснована степень интенсивности освоения недр с учетом функционально-планировочной структуры города.

Данные об отдаленных и ближайших перспективах развития подземных этажей города приведены в работе М.А.Пирра [6]. Планируется строительство разветвленной сети метрополитена общей протяженностью 285 км, трасс автомобильного движения с протяженными тоннелями в центральных районах города, подземных участков скоростных транспортных магистралей, а в центре, т.е. в районе крупных транспортных узлов, - формирование протяженной системы

нижних этажей различной насыщенности. Первоочередными объектами комплексного освоения подземного пространства уже в 12-й пятилетке будут разнообразные сооружения в жилых кварталах районов новой застройки и на участках реконструкции некоторых центральных районов Ленинграда.

К настоящему времени разработаны общие принципы вертикального зонирования подземного пространства на основе традиционно сложившегося его использования, учета номенклатуры подземных сооружений и общих представлений об изменчивости инженерно-геологических условий городов с глубиной [1, 2, 5]. В соответствии с этими принципами выделяются следующие основные ярусы: 0-4 м, включающий местные инженерные сети, автостоянки, пешеходные переходы, тоннели непрерывного транспорта, цокольные и подвальные помещения жилых домов, общественных и производственных зданий; 4-10 м - верхние подземные вестибюли метрополитена, транспортные тоннели, проходные коллекторы, тоннельные канализационные коллекторы, трубопроводы, примагистральные и многоярусные гаражи, склады, отдельные помещения учреждений культурно-бытового назначения и др.; 10-20 м - тоннели транспортного и другого назначения, сооружения инженерного оборудования города, помещения многоуровневых центров и др.; 20-40 м главным образом тоннели метрополитена железнодорожного диаметра, канализационные коллекторы; 40 м и глубже - отдельные сооружения инженерного оборудования, тоннель железнодорожного диаметра, метрополитен, участки канализационных коллекторов. Вероятно, с некоторыми уточнениями эти принципы вертикального зонирования пригодны и для Ленинграда, и,следовательно, инженерно-геологические условия строительства отдельных подземных сооружений необходимо выявлять до глубины 40-60 м, а иногда и более.

В пределах этих глубин инженерно-геологические условия Ленинграда весьма разнообразны и порой исключительно сложны: в разрезе насчитывается до 30 стратиграфо-генетических комплексов горных пород, образующих сложно построенную толщу четвертичных отложений и верхнепротерозойских и нижнекембрийских глин и песчаников. В ней в отдельных районах распространено четыре горизонта ледниковых образований: днепровская, московская, лужская и невская морены, разделенных флювиогляциальными, озерными, аллювиальными и морскими отложениями, перекрытыми верхнеплейстоценовыми и голоценовыми песчано-глинистыми породами, малоуплотненными, водонасыщенными водоносными, общей мощностью обычно превышающей 20 Породы докембрийского кристаллического фундамента залегают в среднем на глубине до 200 м - за пределами зоны влияния самых заглубленных подземных сооружений. В разрезе вскрыто от двух до пяти напорных водоносных горизонтов с широким диапазоном изменения напоров, кровля которых залегает на глубинах от 2 до 200 м и более. В поздне- и послеледниковых отложениях повсеместно развит горизонт грунтовых вод, приуро к породам самых разнообразных генетических и петрографических типов и из-за сложного их пространственного взаимоотношения нередко местный напор. На режим, условия движения, питания и разгру грунтовых вод существенно влияет разветвленная сеть рек, каналов, инженерных коммуникаций Таким образом, территория Ленинграда является примером очень

сложных инженерно-геологических условий, и опыт строительства в Ленинграде подземных сооружений, в первую очередь метрополитена, уникален.

Из всего многообразия факторов, определяющих инженерно-геологические условия Ленинграда, попытаемся выделить те, от которых главным образом зависит возможность успешного комплексного освоения его подземного пространства. Обычно основным условием этого выдвигают наличие в пределах территории однородного слоя или пачки слоев горных пород с залеганием, близким к горизонтальному, мощностью не менее 15 м, достаточно выдержанных по простиранию. Такие породы должны также отличаться высокой плотностью, низкой пористостью, водо- и газонепроницаемостью, водоустойчивостью, повышенной прочностью и малой деформируемостью. Подземный характер сооружений предъявляет к породам и особые требования: отсутствие в них окислительных процессов, связанных с уменьшением содержания в воздухе кислорода, выделением ядовитых газов, самонагреванием пород; устойчивость к процессам выветривания; удовлетворительные показатели тепловых свойств, температурного расширения пород [3, 4]. Таким образом, ведущим фактором инженерно-геологических условий строительства подземных сооружений оказывается геологическое строение территории.

Поскольку здесь рассматриваются условия комплексного освоения подземного пространства в соответствии с приведенными выше принципами вертикального зонирования, приходится констатировать, что в разрезе Ленинграда нет такого горизонта, который по условиям залегания, мощности и распространению полностью удовлетворял бы всем требованиям строительства сооружений любого уровня. В наибольшей степени им отвечают верхнепротерозойские котлинские и нижнекембрийские лонтсваские глины для наиболее заглубленных и кое-где среднезаглубленных сооружений. Эти слои служат средой для подземных станций и перегонных тоннелей метрополитена, магистральных канализационных коллекторов и некоторых объектов инженерного оборудования города.

Для самых разнообразных сооружений более мелкого заложения наибольшее значение имеет горизонт лужской морены. Условия строительства сооружений уровней 0–4 и 4–10 м, в меньшей степени 10–20 м, а также вскрывающих выработок заглубленных сооружений (наклонных и вертикальных шахтных стволов, эскалаторных тоннелей) будут определяться составом, строением и мощностью поздне- и послеледниковых отложений, перекрывающих лужскую морену.

Приведем краткую характеристику названных элементов геологического разреза Ленинграда.

Глубина залегания, рельеф кровли, мощность дочетвертичных отложений, их основные свойства изучены при изысканиях для обоснования проектов метрополитена, глубоких тоннельных коллекторов специальными исследованиями геологических организаций Ленинграда. Эти данные показывают, что поверхность коренных пород сильно расчленена эрозионными долинами и ложбинами стока талых ледниковых вод, чаще всего узкими, вытянутыми почти в широтном направлении. Наибольшие их глубины (примерно

до 100 м) установлены в районе Васильевского острова и Лахтинского разлива. Наблюдаются и более мелкие, каньонообразные понижения кровли глубиной до 35 м и шириной 100-150 м. В таких углублениях представлен наиболее полный разрез четвертичных отложений. Наименьшая глубина залегания котлинских глин составляет 11-15 м. В южной и юго-западной части города они перекрыты песчаниками ломоносовского горизонта мощностью 1-28 м и глинами лонтоваской свиты. Здесь отметки кровли коренных пород возрастают до 10 м, изменяясь на большей части территории в пределах 15-50 м.

Котлинские глины очень плотны, слоисты, иногда сланцеваты, они разбиты сетью почти вертикальных трещин, на плоскостях которых нередки зеркала скольжения; с этой трещиноватостью связаны осложнения при ведении горных работ. В верхних горизонтах встречаются прослои кварцевого песчаника мощностью до 1 м. На отдельных участках глины перемяты, переотложены, их сложение нарушено гляциодислокациями. Средняя их влажность 14 %, плотность 2,20 г/см^3. Котлинские глины отличаются высокой прочностью и малой деформируемостью.

Лонтоваские глины имеют большую влажность (20 %) и меньшую плотность (2,10 г/см^3), но также надежны для размещения подземных сооружений.

Проходка тоннелей ведется механизированным щитом, обеспечивающим надежность крепления. Осложнения возникают при разработке прослоев крепких водоносных песчаников, а в зоне гляциодислокаций из-за нарушений условий залегания пород, их расслаивания, роста горного давления и нередко встречающихся ксенолитов и крупных валунов.

Лужская морена вскрыта многими изыскательскими скважинами при обосновании строительства наземных сооружений, местами она выходит на поверхность. Рельеф ее кровли сформирован абразионной деятельностью приледниковых позднеплейстоценовых и морских голоценовых бассейнов и расчленен эрозионными врезами, поэтому поверхность морены представлена чередованием многочисленных гряд, холмов, межгрядовых, нередко трогообразных, ложбин и седловин. В северной части города она прослеживается на двух уровнях, разделенных уступом высотой до 21 м с отметкой бровки 5 м. Высший уровень ее отвечает погребенным моренным грядам (Юкковская возвышенность, Бугры), наиболее низкое залегание с отметками кровли до минус 20-34 м в долине пра-Невы и Лахтинской котловине. Представлена морена валунными суглинками, супесями с линзами песков, средняя ее мощность 10-20 м, минимальная на возвышенностях (5-10 м), максимальная (37 м) в древней долине Невы. Породы отличаются высокой плотностью (1,9-2,3 г/см^3), малой влажностью (в среднем 19 %), высокой прочностью и малой деформируемостью, но в ряде случаев, особенно по берегам Финского залива, имеют недостаточно устойчивую консистенцию.

Среди перекрывающих лужскую морену пород наибольшее значение имеют отложения балтийских ледниковых озер, повсеместно распространенных в Приневской низменности, поверхность которых ступенчато опускается от 50-88 до 5-10 м и до минус 13-23 м к долине Невы, образуя несколько террас, а в пониженных частях - в Приморской низине - осадки литоринового моря, широко распространенные по берегам Финского залива, в островной

части города, в устье и дельте Невы, слагающие террасу высотой 8–9 м. Эти отложения хорошо изучены и неоднократно описаны. Будучи, как правило, малоустойчивыми, сильно деформируемыми песчано-глинистыми породами, они создают определенные трудности при любом виде строительства, в том числе и подземном; в них применяют специальные методы проходки: с предварительным осушением, водоотливом, замораживанием, в кессоне и т.п. В них размещают разнообразные подземные сооружения мелкого заложения, особенно в центральной части города. Здесь, таким образом, при наибольшей интенсивности использования подземного пространства отмечаются наиболее сложные инженерно-геологические условия.

Вторым важнейшим фактором условий подземного строительства является гидрогеологическая обстановка: горизонт грунтовых вод для сооружений мелкого заложения и напорные водоносные горизонты для более глубоких. В толще позднe- и послеледниковых отложений, включающих грунтовый водоносный горизонт, выдержанные водоупоры отсутствуют. Глубина залегания вод часто мала, она растет на пониженных участках рельефа и вблизи водотоков. Мощность водоносного горизонта от I до 30 м, коэффициент фильтрации изменяется от 0,I до 5 м в сутки, водообильность пестрая. Нередко именно грунтовый водоносный горизонт является определяющим в оценке пригодности участка для строительства или вызывает значительные затраты средств и времени при сооружении объекта.

Первый от поверхности напорный водоносный горизонт, распространенный почти повсеместно, заключен между лужской и московской моренами и приурочен к озерным, озерно-аллювиальным и флювиогляциальным пескам различного состава с включением грубообломочного материала, относящегося к курголовским и верхневолжским слоям верхнего плейстоцена. Мощность его изменяется от 0,3 до 44 м, на большей части территории – не более 5 м; средний напор I6–I8 м, местами до 36 м; глубина залегания пьезометрической поверхности от 2–6 до 2I–23 м на возвышенностях. Водообильность пестрая: удельные дебиты от 0,00I до 4,4 л/с. Основные осложнения возникают при малой мощности водоупора в подошве подземных сооружений и при проходке вскрывающих выработок. Выбор способов борьбы с воздействием водоносного горизонта должен производиться с учетом эксплуатации его как источника минеральных полюстровских вод.

Для наиболее заглубленных сооружений значение имеет гдовский водоносный горизонт, приуроченный к песчаникам ниже котлинской свиты и отличающийся большими напорами: от I70 до 220 м.

В отдельных районах города, кроме того, распространен нижний межморенный и нижнекембрийский (ломоносовский) напорные водоносные горизонты.

Из других факторов инженерно-геологических условий подземного строительства необходимо отметить затопляемость значительных территорий при наводнениях в Невской губе и Неве.

Степень благоприятности инженерно-геологических условий подземного строительства определяется, таким образом, глубиной залегания лужской

морены и коренных пород, мощностью, составом и свойствами надморенных отложений, наличием одного или двух межморенных напорных водоносных горизонтов и их характеристиками. Наиболее неблагоприятны участки с глубиной залегания лужской морены более 20 м, котлинских глин более 50 м, повсеместным распространением первого межморенного и спорадическим второго напорных водоносных горизонтов.

Необходимость комплексного освоения подземного пространства Ленинграда выдвигает перед инженерной геологией качественно новые и сложные задачи, связанные с региональной оценкой и обоснованием проектов сооружений. Помимо крупномасштабного и детального инженерно-геологического картирования для разработки проектов планировки размещения отдельных сооружений и их комплексов с глубиной изучения природных условий до 60 м и более, необходима постановка специальных опытных и режимных стационарных наблюдений за осадками и деформациями сооружений, поверхности территорий, и уровнем подземных вод и др. Изучение горных пород должно быть направлено на выявление признаков и показателей, количественно оценивающих возможность развития геологических процессов, разуплотнения горных пород под влиянием проходки горных выработок, увеличения горного давления, сдвижения и образования мульд оседания, прорывов воды, резкого изменения уровней водоносных горизонтов, деформации и разрушения наземных сооружений, провалов отдельных участков поверхности. Должно быть также количественно обосновано применение специальных методов производства строительных работ.

Важнейшей составной частью изысканий необходимо считать обобщени и анализ опыта строительства сооружений, причины их деформаций и разрушений в пределах Ленинграда.

Решение этих задач потребует некоторого изменения методики инженерно-геологических исследований, комплексирования разных видов геологических работ и разработки комплексных методов оценки и прогноза инженерно-геологических условий отдельных участков территорий Ленинграда и их менения под влиянием подземных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

Голубев Г.Е. Подземная урбанистика. Градостроительны собенности разви тем подземных сооружений. М., Стройиздат, 1979.

2. Голубев Г.Е. Основные направле строительстве. - В кн.: Инженерная геология и градостроительство.

3. Зильберборд А.Ф., Горская Г.С., Городе сооружений и инженерно-геологические условия их оптимального

4. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология городов в подземного пространства. - В кн.: арти родских агломе ций для решения задач планирования инженерно-хозяйственной изд. ЦТИСИЗ, 1981.

5. Медведев О.П., Урбан Б.Э., Козловский В.И. картирование г.Москвы и его перспекти - В кн.: Проблемы рования М., Изд-во МГУ, 1975.

6. Пирр М.А. Подземные этажи города. Перспективы их развития. - Ленинградская панорама, 1982, № 3.