Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института имени Г.В.Плеханова,
1989. Т. 118

УДК 624.131:551

# ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ЛЕНИНГРАДА, СВЯЗАННЫЕ СО СТРОИТЕЛЬНЫМ ЕЕ ОСВОЕНИЕМ

А.В.КУЗЬМИН

Роль геологической среды в функционировании сложной городской природно-техногенной системы постоянно возрастает. Актуально это и для Ленинграда, в частности, в условиях развертывающейся реконструкции исторического центра, предусматривающей широкое комплексное использование подземного пространства. Растет также удельный вес земель с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями в районах перспективной застройки. Однако изучению геологической среды и особенно наблюдениям, прогнозу, разработке мер защиты от неблагоприятных воздействий природных и техногенных геологических процессов должное внимание уделяется, как правило, на территориях городов, где эти процессы (сейсмические, карстовые, мерзлотные, оползневые и др.) ярко выражены. В других случаях условия строительства и эксплуатации считаются благополучными, хотя это объясняется всего лишь низким уровнем информации о негативных изменениях геологической среды при ее взаимодействии с разнообразными сооружениями и под влиянием хозяйственной деятельности. Нужно представлять себе трудности учета техногенных изменений: многие из них вызывают скрытые изменения среды, часто проявляющиеся в опасных масштабах только после длительного воздействия какого-либо процесса и накопления результатов такого воздействия.

Изменения элементов геологической среды Ленинграда были неизбежны, так как город начали строить на низкой террасированной приморской равнине, в дельте Невы с ее низкими берегами, многочисленными рукавами, протоками, малыми реками и островами. Город создавался в зоне действия геологических и гидрологических процессов, связанных с систематическим затоплением территории при часто повторяющихся наводнениях, особенно в осеннюю и зимнюю пору.

С первых шагов строительство города было подчинено задачам общегосударственного значения и последовательно основывалось на принципах регулярности, в итоге на протяжении большей части своей истории город строился по существу без учета инженерно-геологических условий.

И в последующее время, включая современный этап, развитие города основывается не на поиске наиболее благоприятных для этого инженерно-геологических условий, а привязывается к планировочным направлениям, имеющим во многом исторические предпосылки и глубокую преемственность.

Неблагоприятные гидрологические и геологические условия строительства города уже с самого его начала потребовали значительной инженерной подготовки территорий. Она выразилась прежде всего в подъеме поверхности – подсыпке участков застройки, т.е. в накоплении техногенных отложений. О динамике этого накопления (образовании насыпной толщи) можно судить по таким данным: если в XVIII в. город начинал затопляться при наводнениях при подъеме уровня воды всего в 40 см, то в XIX в. – уже в 85 см, к началу XX в. – более 140 см, во второй половине XX в. – более 150 см; для затопления площади в 20 км$^2$ был необходим подъем уровня воды в XVIII, XIX и XX вв. соответственно на 180, 210 и более 260 см выше ординара [5].

В настоящее время техногенные образования мощностью до 2 м занимают практически всю территорию низкой литориновой террасы (0–3 м), а по левобережью Невы – и более высокой террасы с отметками 4–6 м. Почти третья часть всей этой площади имеет насыпные отложения мощностью от 2 до 4 м с отдельными участками более 4 м.

Изменение ландшафта и рельефа как одного из основных его элементов происходило в силу необходимости понижения уровня грунтовых вод ниже естественного, близкого к поверхности, на подтопляемых при наводнениях участках, а также на поднятых подсыпкой, где началось формирование техногенного грунтового водоносного горизонта. Проходились каналы, пруды-дрены, позднее многие из них засыпались в угоду новым градостроительным задачам.

Рассмотрев техногенные изменения рельефа, увидим, что любое техногенное воздействие на элементы геологической среды (вмешательство в природную обстановку) порождает в дальнейшем цепочку необходимых инженерных мероприятий или мер защиты: подсыпка территории приводит к формированию техногенного водоносного горизонта; нарушение естественного режима, химического состава подземных вод требует дренирования территории, очистки вод и т.д.

Выделим основные направления изменений отдельных элементов геологической среды и процессы, вызвавшие эти изменения.

Изменения рельефа происходят в направлении его нивелирования, уничтожения геоморфологических признаков основных его форм: уступов, тыловых швов и бровок террас, береговых валов и др. Изменяются отметки (в основном повышаются, хотя на отдельных участках могут и понижаться), изменяется (сглаживается) расчлененность рельефа, в нем возникают техногенные микро- и мезоформы. Эти изменения вызываются подсыпками территорий, намывом, складированием промышленных и бытовых отходов, регулированием гидросети, а также оседанием поверхности под влиянием застройки и осадки отдельных зданий, строительного водопонижения и водоотбора из эксплуатационных на воду скважин, сдвижением горных пород при строительстве инженерных коммуникаций и заглубленных подземных сооружений, развитием суффозии по траншеям и смотровым колодцам.

В геологическом разрезе техногенные воздействия приводят к появлению новых слоев, замене или срезке пород, а также изменению стратификации (положения в разрезе). Новые слои возникают в виде техногенных отложений при намыве и подсыпке территорий; при размещении промышленных и бытовых отходов; при засыпке пазух строительных котлованов и обратной засыпке набережных, устроенных в виде разнообразных подпорных стен, свайных и обычных шунтовых рядов; при засыпке элементов гидросети; при планировке и земляных работах для прокладки инженерных коммуникаций; при дорожном строительстве; при закладке выработанного пространства. Стратификация нарушается преимущественно путем перевода в погребенное состояние современных болотных, аллювиальных, морских отложений в результате намыва и отсыпки на них техногенных образований.

Существенные изменения претерпевают горные породы; изменяются их вещественный состав, физические свойства и физическое состояние в результате уплотнения и разрыхления, увлажнения и подсушивания, разжижения. Не остаются неизменными и тепловые, электрические, магнитные свойства, коррозийность пород. Вследствие кольматации пор, обводнения и осушения, изменения плотности и пористости, возникновения искусственной трещиноватости в плотных глинах изменяется водопроницаемость и водообильность горных пород. Механические свойства (деформируемость, прочность, устойчивость) изменяются в результате обжатия техногенными отложениями, уплотнения весом сооружений, сваями, при динамических воздействиях, возникающих от работающих механизмов, наземного и подземного транспорта, при сдвижении горных пород вокруг заглубленных сооружений и над ними, при строительном водопонижении и при эксплуатации подземных вод.

Изменения в подземных водах приводят к формированию нового водоносного горизонта в техногенных отложениях; к изменению режима (уровней, амплитуды их колебаний, направления и скорости движения) грунтовых вод. Изменение химического состава по макрокомпонентам способствует формированию новых гидрохимических типов вод, химическому и тепловому загрязнению грунтовых вод с накоплением вредных компонентов, превышающим предельно допустимые концентрации; изменению агрессивности вод по отношению к бетону и металлическим конструкциям.

Нарушения режима и состава подземных вод, их загрязнение происходят вследствие следующих процессов: регулирования поверхностных водотоков и изменения гидрографической сети; подпора при подтоплении; возведения водонепроницаемых облицовок набережных; дренирования траншеями, строительными котлованами; строительства подземных линейных сооружений, которые становятся барражом; изменения условий питания в результате асфальтирования, полива зеленых насаждений, нарушения природного термовлажностного режима; загрязнения промышленными стоками, утечками из инженерных сетей, антигололедными смесями, атмосферными осадками, водами, фильтрующимися через загрязненную почву и зону аэрации.

Таким образом, одни и те же воздействия приводят к изменениям раз-

личных элементов геологической среды. Поэтому для анализа последствий техногенного вмешательства в природные процессы правильно рассмотреть все воздействия в виде классификации техногенных геологических процессов. Здесь учтены только те процессы, которые вызваны застройкой и ее инженерной подготовкой, развитием городской транспортной системы и комплексным освоением подземного пространства.

Как показывает анализ, в Ленинграде зафиксировано около 40 видов техногенных геологических процессов и явлений различной интенсивности и степени опасности для окружающей среды, которые можно объединить в пять групп:

I. Процессы и явления, вызванные изменением напряженного состояния пород при действии статических и динамических нагрузок, при вскрытии горных пород открытыми и подземными горными выработками.

2. Процессы и явления, вызванные охлаждением пород или подземных вод или их обогревом.

3. Процессы и явления, вызванные изменением поверхностной гидросферы при нарушениях естественного стока атмосферных вод, при создании техногенной гидрографической сети.

4. Процессы и явления, вызванные изменениями режима подземных вод при действии фильтрационных сил, вследствие повышения уровня подземных вод с обводнением и увлажнением пород или его понижения; при изменениях химического режима.

5. Антропогенный литогенез (субаэральный и субаквальный) вследствие стихийного или регулируемого накопления техногенных отложений на поверхности земли и в естественных и искусственных водоемах, намыва, техногенного преобразования естественных осадков водоемов.

Специальных наблюдений за нарушенностью геологической среды в Ленинграде, за исключением режимных наблюдений за грунтовыми водами и измерением осадок ограниченных групп зданий, до сих пор не организовано. Поэтому приводимая ниже оценка роли отдельных групп техногенных геологических процессов основывается на разрозненных данных, результатах прогнозных расчетов и использовании опыта других городов.

Процессы, связанные с изменением напряженного состояния пород, приобретают для Ленинграда все большее значение и нередко приводят к значительным отрицательным последствиям, особенно в связи с интенсификацией работ по освоению подземного пространства.

Под действием разнообразных статических нагрузок возникают осадки поверхности и зданий, иногда выпор пород основания. Масштаб эффекта определяется этажностью, сроками строительства, плотностью застройки, инженерно-геологическими условиями. В зоне действия процесса изменяются свойства пород. В результате уплотнения пород около каждого здания образуется осадочная воронка глубиной от 5 до 30-40 см и более. Размер ее в плане зависит от величины напряжений и сжимаемой зоны, которая при строительстве на слабых основаниях достигает 30-50 м. При плотной застройке воронки смыкаются, и под городом формируется крупноплощадная депрессионная поверхность в виде чаши оседания сотообразного строения – множество одиночных и

совмещенных воронок разного диаметра и глубины: чаще 10–20 см, на заторфованных литориновых супесях 30–40 см, иногда 50–60 см, при неравномерности от 6 до 25 см. В зоне действия зданий на намытой территории Васильевского острова (свайные фундаменты глубокого заложения) радиус воронки оседания достигает 80 м. Наземные вестибюли метрополитена имеют осадки 10–35 см.

Динамические и ударные нагрузки создаются вибрациями разнообразной природы, наиболее опасный интервал вибраций 500–2500 мин$^{-1}$. Эти воздействия уплотняют пески, разрушают тиксотропные глинистые разности, нарушают устойчивость откосов и склонов. Возникающие при этом осадки в несколько раз больше, чем от статических нагрузок. Автомобильный транспорт, трамвай воздействуют на слои пород до глубины 70 м, увеличение скорости транспорта с 10 до 20 км/ч приводит к росту амплитуды колебаний на 120 %. Здания вдоль автотранспортных магистралей имеют осадку на 10–25 мм больше, чем в переулках и тупиках, под воздействием поездов метрополитена – на 5–20 см [4]. Повторное нивелирование в Ленинграде показало, что осадка зданий, построенных более 100 лет назад, увеличилась до 2,2 мм в год против 0,3 мм в год в 1911–1927 гг. [2]. Плохо засыпанные траншеи на городских улицах дают осадки и корытообразные углубления.

Любой вид подземного строительства не проходит бесследно для состояния и устойчивости горных пород. Особенно значительны воздействия при строительстве заглубленных сооружений метрополитена, магистральных канализационных коллекторов, сооружений инженерного оборудования. Процессы сдвижения горных пород и осадки поверхности земли могут быть вызваны следующими явлениями:

1) выпуском в выработку плывунов, сыпунов (сухих песков), вывалами и обрушениями;

2) суффозией при водопритоке;

3) выпучиванием и выдавливанием пород в выработку силами горного давления и деформацией крепления;

4) сдвижением пород в сторону забоя при щитовом способе проходки;

5) разностью в сечениях тоннеля и его одежды (зазор до 20–25 см);

6) просадками оттаивания после искусственного замораживания, когда осадки продолжаются до 3–5 лет и достигают нескольких десятков сантиметров;

7) поднятием уровня воды в непосредственной близости от выработок, поднятием дневной поверхности от действия сжатого воздуха, вспучиванием асфальта при кессонном способе проходки.

Интенсивность сдвижения пород, которое всегда сопровождает подземные горные работы, определяется инженерно-геологическими условиями, особенностями планировки и застройки городских районов, наличием подземных коммуникаций и сооружений, формой и размерами выработок, технологией строительства. Так, при проходке выработок в несвязных сыпучих породах наблюдаются значительные сдвижения и деформации, нарастающие в течение нескольких суток, в глинистых – длительные, в течение 2–3 лет и более, оседания. По

расчетам, мульда оседания над станционными сооружениями ленинградского метрополитена может достигать 35–65 см при ширине 160–300 м, над перегонными тоннелями соответственно – 1–3 см и 40–200 м. При разноэтажных подземных сооружениях происходит накопление сдвижений и деформаций (наложение на ранее проявленные нарушения поверхности).

Увеличение размеров поперечного сечения подземных выработок в одинаковых инженерно-геологических условиях приводит к интенсификации развития и увеличению мульды сдвижения и размеров оседания поверхности. При мелком заложении (до 10–15 м) уменьшение глубины приводит к росту деформаций поверхности, при глубоком – деформации растут примерно пропорционально увеличению глубины, причем скорость оседания уменьшается, а продолжительность его увеличивается линейно с глубиной.

Деформации вызывают все применяемые в Ленинграде способы проходки: щитовой, продавливания, искусственного водопонижения и замораживания, кессонный, комбинированный (водопонижение в сочетании с кессоном, укреплением призабойной зоны и иглофильтрами в забое). Поэтому необходимо специальное инженерно-геологическое обоснование применения этих способов, что позволит если не исключить, то значительно уменьшить отрицательные последствия подземного строительства.

Техногенные геотермические процессы и явления вызываются факторами, повышающими и понижающими температуру приземного слоя атмосферы, горных пород и подземных вод. Для Ленинграда, относящегося к зоне сезонного промерзания, прямыми факторами повышения температуры являются утепляющее воздействие застройки, передача тепла подземными сооружениями, влияние нагретых промышленных объектов, выделение тепла людьми, а косвенными – создание искусственных водоемов, подтопление и увлажнение горных пород, увеличение в атмосфере содержания $CO_2$, аккумуляция тепла застройкой, озеленение.

Тепловыделение существенно изменяет состояние и свойства пород: уменьшает влажность, пористость, вызывает термоусадку и повышение механической прочности. Среднегодовая температура воздуха в Ленинграде выше, чем в окрестностях, примерно на 0,6 °С, весенний минимум температуры грунтовых вод на участках с нарушенным режимом выше обычного на 2,4 °С, абсолютный максимум – на 9–10 °С [3]. В сфере влияния нагретых объектов (горячие цеха, печи, теплопроводы) температура пород повышается до 30–60, иногда до 80–100 °С, при этом за счет термоусадки здания и сооружения могут получать дополнительную осадку до 20–30 см. Влажность пород снижается ниже максимальной молекулярной влагоемкости, в глинистых разностях возникают трещины усадки, изменяющие водо- и газопроницаемость.

Понижают температуру искусственное замораживание пород, а также снегоуборка и уплотнение снежного покрова, уничтожение водоемов, искусственное водопонижение и осушение пород, затенение почвы застройкой, уничтожение почвенного и растительного покрова. В результате интенсифицируется морозное пучение, активно проявляющееся на автомобильных и железных дорогах, в откосах каналов, по берегам рек. В Ленинграде и пригородах грунтовые реперы поднимаются на 20–70 см, шпунтины и сваи – до 2,5 м, водосточ-

ные и смотровые колодцы – на 10–15 см, одно-двухэтажные здания – на 5–55 см [6], деформированы ограды многих промышленных предприятий. Процессы морозного пучения особенно интенсивны в районах развития сильно пылеватых отложений балтийского ледникового озера, в том числе ленточных. Пучение при искусственном замораживании превышает 200 мм.

Физическое выветривание, главным образом морозное, приводит к повышению дисперсности пород, особенно в области пылеватых фракций, и как следствие – к снижению их прочности, устойчивости.

Техногенные изменения геологической среды, вызванные нарушениями в подземной и поверхностной гидросфере, изучены более детально, результаты специальных исследований в значительной степени опубликованы [1,3].

Итак, для Ленинграда, где современные инженерно-геологические условия отличаются широким развитием с поверхности слабых в строительном отношении пород, повсеместным распространением техногенных отложений, близким к поверхности залеганием грунтовых вод, часто весьма агрессивных и иногда обладающих местным напором, наличием в разрезе напорных водоносных горизонтов, характерны значительные изменения геологической среды. Эти изменения связаны, главным образом, с техногенными воздействиями, которые обусловлены существованием и развитием огромного города. Высокая неоднородность инженерно-геологических условий отдельных участков территории определяет существенно разную реакцию таких участков на одинаковые техногенные воздействия.

## Выводы

1. Изменения геологической среды Ленинграда отражаются в измененности разной степени всех основных ее элементов в результате разнообразных техногенных воздействий.

2. В связи с разнообразием техногенных воздействий, их большой продолжительностью, сложностью инженерно-геологических условий и значительной плотностью застройки в центральной, исторически сложившейся части города наибольшие изменения геологической среды произошли именно там. Накапливаясь, эти изменения привели к состоянию, когда дальнейшее освоение геологической среды центральных районов Ленинграда, связанное с реконструкцией и развитием систем инженерного оборудования города и его транспортного обеспечения, осуществлением новой или реконструкцией старой застройки, требует тщательного учета взаимодействия проектируемых зданий, сооружений и сетей с геологической средой и с существующей застройкой во избежание непредсказуемых последствий.

3. Наиболее значительные и опасные изменения происходят при строительстве подземных сооружений, что требует особой осторожности при строительных и реконструктивных работах в исторической части города.

4. Степень изменения элементов геологической среды определяется и контролируется инженерно-геологическими условиями, однако их изучение

до настоящего времени проводится не столь целенаправленно и углубленно, как это необходимо для полной оценки инженерно-геологической и гидрогеологической обстановки.

5. Техногенные изменения геологической среды при развитии города неизбежны, однако их негативное воздействие усиливается почти полным и ставшим традиционным отсутствием учета особенностей инженерно-геологических условий, отсутствием специальных наблюдений за состоянием элементов геологической среды, консерватизмом проектных институтов и ведущих строительных организаций города в применении прогрессивной техники, передовых методов и способов технологии строительства, прежде всего подземного.

•

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. Веселаго А.Д., Кузьмин А.В. Рациональное использование и охрана недр при градостроительном развитии Ленинграда // Пути решения вопросов рационального использования и охраны природных ресурсов Ленинграда и Ленинградской области / Зоологический ин-т АН СССР. Л., 1984.

2. Ершов В.А., Романов А.А. Влияние уличного транспорта на осадку зданий // Вопросы инженерной геологии Ленинградского экономического района / Центр. бюро техн. информации. Л., 1960.

3. Козлова Э.В., Тукалло А.М., Федосеенко Ю.П., Веселаго А.Д. Исследование грунтовых вод Ленинграда в связи с охраной окружающей среды // Режимные инженерно-геологические и гидрогеологические наблюдения в городах. М.: Наука, 1983.

4. Котлов Ф.В. Антропогенные геологические процессы и явления на территории города. М.: Наука, 1977.

5. Ленинград. Историко-географический атлас / Под ред. Н.В.Разумихина. М.: Изд-во Главн. упр. геодезии и картографии, 1977.

6. Спиридонова И.К. Геологические процессы и явления на территории Ленинграда, вызванные деятельностью человека // Инженерно-геологические процессы и явления, их значение для строительства. М.: Госстройиздат, 1963.