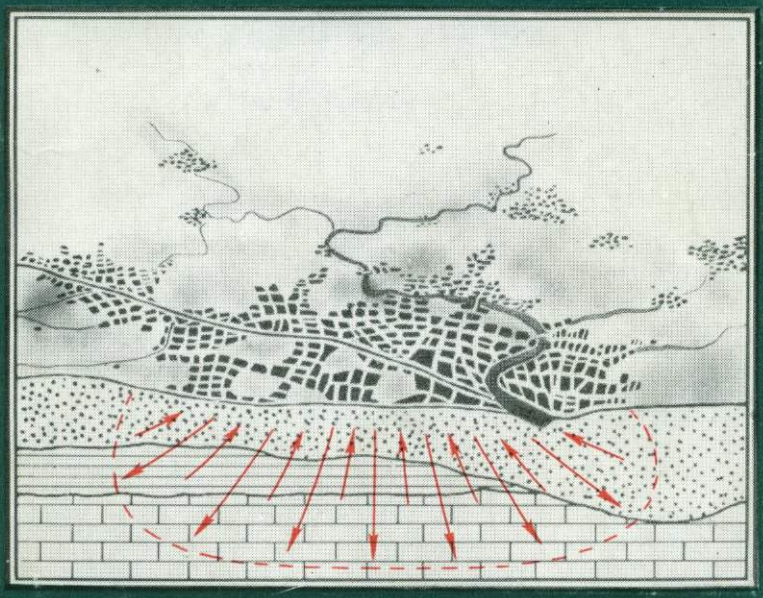
Ф. В. КОТЛОВ

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОТДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОХИМИИ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГРУНТОВЕДЕНИЮ
ГОССТРОЙ СССР
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ф. В. КОТЛОВ

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

2561

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» • МОСКВА 1977

УДК 624.131.1

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

В книге обобщаются многолетние исследования по проблеме изменения природной геологической среды и формирования антропогенных геологических процессов. Освещаются основные факторы, условия и закономерности формирования антропогенных геологических процессов, приводится их систематика.
Табл. 4. Илл. 27. Библ. 177 назв.

Ответственный редактор
Н. И. КРИГЕР

К $\frac{20902-207}{055(02)-77}$ 215–76

© Издательство «Наука», 1977 г.

ВВЕДЕНИЕ

Научно-техническая революция привела к усилению воздействия человека на природную геологическую среду, особенно в городах и промышленных центрах, которые становятся основной средой обитания и жизнедеятельности человека. Если в начале XIX в. городское население Земли составляло всего 2%, то теперь в индустриально развитых странах оно значительно преобладает над сельским. Так, например, доля городского населения в настоящее время в ФРГ достигла 85%, в Англии — 82, во Франции — 75, в США — 70, в Австралии — 70, в Новой Зеландии — 64, в СССР — 62% (на январь 1977 г.).

В современных городах сосредоточены наиболее интенсивные и концентрированные воздействия человека на природу. Современный крупный город — место многоотраслевого строительства (гражданского, промышленного, гидротехнического, транспортного, горного, коммунального и др.) с разнообразием типов, размеров, конструкций и веса зданий и сооружений.

С этим, в свою очередь, связано и разнообразие видов воздействий человека на природную среду. Город и природная среда едины и взаимосвязаны. Приспосабливая к своим потребностям природную обстановку, человек активно вмешивается в ее состояние. В городах и промышленных центрах изменяются почти все компоненты природной среды, входящие в сферу влияния человека: атмосфера, климат, поверхностная гидросфера, растительность, почвы, рельеф, верхний покров литосферы, подземная гидросфера, современные геодинамические процессы и явления.

Изменения одного компонента вызывают изменения других, причем раскрытие взаимосвязей в динамике изменений среды представляет сложную задачу и служит научной основой прогнозирования. На территории города человеком изменены многие естественные физические поля: гравитационное, термическое, электрическое, магнитное, гидродинамическое, геохимическое, радиоактивное и др. С изменением природной среды, физических полей связано формирование широкого спектра антропогенных геологических процессов, которые оказывают огромное влияние на окружающую среду и градостроительную практику.

Антропогенными геологическими процессами автор называет те процессы, появление, существование и развитие которых связано с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. В научно-технической литературе их называют еще техногенными, искусственными, инженерно-геологическими, гоминидогенными, поногенными, индустриальными, агрогеологическими, инженерно-географическими и др.

Автор отдает предпочтение термину «антропогенные», как наиболее всеобъемлющему, емкому и четко определяющему генезис процессов и явлений (Котлов, 1963 б).

Автором, его сотрудниками и учениками в течение 30 лет детально изучались антропогенные геологические процессы и явления, развитые на территориях городов, расположенных в различных регионально-геологических и зонально-климатических условиях.

Объектами изучения были такие города, как Москва, Ленинград, Киев, Одесса, Баку, Ташкент, Улан-Удэ, Архангельск, Славянск, Новый Карфаген, Ростов-на-Дону, Таганрог, Донецк, Горловка, Кривой Рог, Воркута, Ялта, Алупка и др. Исследования включали проведение инженерно-геологической съемки, бурение, шурфование, лабораторные анализы грунтов и вод, стационарные наблюдения, моделирование, опытные работы, теоретические и методические разработки. Геологические методы исследований дополнялись археологическими и историческими. Кроме перечисленных выше городов по многочисленным литературным и авторским материалам изучались геологические процессы и явления на территориях нескольких десятков других крупных городов Земли.

В настоящей работе на базе фактического материала дана обобщающая характеристика следующих выделенных нами классов антропогенных геологических процессов и явлений:

1. Геотермические, вызванные изменением термического поля городов.

2. Гидрогенные, вызванные изменением подземной гидросферы.

3. Гравитационные, вызванные статическими нагрузками.

4. Литогеодинамические, вызванные динамическими нагрузками.

5. Субтерральные (подземные), вызванные добычей полезных ископаемых и подземным строительством.

6. Антропогенный литогенез.

Все эти процессы развиваются избирательно, направленность и закономерность их формирования контролируется тремя факторами: регионально-геологической средой, зонально-климатическими условиями и характером воздействий человека на среду (профилем, экономикой и историей города).

Природные ландшафты в зависимости от функционального профиля города постепенно преобразуются в антропогенные го-

родские ландшафты: промышленные, горнодобывающие, нефтепромысловые, гидротехнические, транспортные и пр. Среди природных ландшафтов наиболее динамичны ландшафты зоны вечной мерзлоты, горноскладчатых регионов и прибрежных территорий. Дифференцируются и сами города по степени активности воздействия на природу. Наиболее интенсивные и глубокие преобразования природной геологической среды наблюдаются в индустриальных городах, особенно горнодобывающего, нефтепромыслового и гидротехнического профиля.

Установлено, что чем крупнее, индустриальнее и древнее город, тем больше его антропосфера (техносфера), тем активнее его влияние на природную геосреду, тем шире спектр антропогенных геологических процессов и явлений.

Комплексное освещение антропогенных геологических процессов, развитых на территории городов, дается впервые. Автор стремился выполненным исследованием в какой-то мере внести свой вклад в развитие учения В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана о техногенезе, о ноосфере, о влиянии деятельности человека на изменение лика Земли, геологической жизни нашей планеты.

С проявлением антропогенных геологических процессов и явлений в крупных городах связано большое количество деформаций и аварий зданий и сооружений, в том числе уникальных памятников истории, архитектуры и древней культуры.

В большинстве своем антропогенные геологические явления ухудшают окружающую природную среду. В связи с этим проблема изучения антропогенных геологических процессов, предупреждения их, управления ими приобретает большое научное и народнохозяйственное значение. В книге в этом аспекте даны некоторые рекомендации изыскателям, проектировщикам и градостроителям.

Автор благодарит своих сотрудников и организации, которые оказали содействие и помощь в выполнении настоящего исследования.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В связи с бурным развитием науки, техники и производства, с ростом и укрупнением городов процессы урбанизации и агломерирования приобрели небывалый размах.

Современные города и промышленные центры стали своеобразными трансформаторами природных ландшафтов и геологической среды. Научно-техническая революция, как никогда, усилила значение проблемы охраны и улучшения природы, особенно для городов и промышленных центров, потому что именно они выступают в роли главных загрязнителей среды.

Это особенно характерно для капиталистических стран, где охрана природы и рациональное использование природных ресурсов затруднены капиталистическим способом производства, господством частной собственности на землю, недра и другие природные богатства. Некоторые буржуазные футурологи и социологи начали предсказывать мировой кризис во взаимоотношениях общества и природы, а некоторые — пророчить индустриальную интоксикацию, самоотравление человечества и гибель цивилизации (Дж. Форрестер, Д. Медоуз и др.).

С подобным социальным и экономическим пессимизмом связаны призывы буржуазных социологов к сокращению индустриализации и роста городов. Такие консервативные концепции чужды марксистскому пониманию взаимодействия общества и природы.

Еще К. Маркс и Ф. Энгельс указывали на то, что «...культура, — если она развивается стихийно, а не *направляется сознательно*... оставляет после себя пустыню...» [1] Несомненно, степень и направленность воздействия человека на природу различны при разных способах производства.

В социалистическом обществе при существовании общественной собственности и плановом ведении хозяйства проблема охраны природы и рационального использования природных ресурсов вполне разрешима, поскольку взаимодействие человека и природы может регулироваться в полезном и нужном для человечества направлении.

В градостроительной практике СССР имеются положительные примеры оптимизации природной среды в городах, построенных в пустынях, полупустынях, на Крайнем Севере (города Норильск, Навои, Шевченко и др.). Вопросам улучшения охраны природы и рационального использования природных ресурсов уделено большое внимание в Программе КПСС, решениях партийных съездов, Центрального Комитета КПСС и правительства СССР. «Прогресс науки и техники, — сказано в Программе КПСС, — в условиях социалистической системы хозяйства позволяет наиболее эффективно использовать богатства и силы природы в интересах народа...» [2].

Строительство коммунистического общества — это преобразование не только человеческого общества, но и сознательное и планомерное преобразование природы.

Теоретические основы геологического учения о взаимодействии человека и земной коры были изложены в классических трудах советских ученых В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана. Анализируя влияние деятельности человека на геологическую жизнь и развитие нашей планеты, они ввели в науку новые понятия о тех-

---

[1] *Маркс К.* и *Энгельс Ф.* Соч., т. 32, с. 45.

[2] Программа и устав Коммунистической партии Советского Союза. М., Изд-во полит. литературы, 1962, с. 211.

носфере и ноосфере[3] и стали приравнивать человека к самым могучим деятелям природы. Техногенез, по А. Е. Ферсману (1934), — это совокупность геохимических и минералогических процессов, вызываемых технической (инженерной, горнотехнической, химической, сельскохозяйственной) деятельностью человека. В. И. Вернадский в своих трудах отмечал, что наша планета переходит в новую стадию своей истории — в ноосферу. «Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше. Перед ним открываются все более и более широкие творческие возможности... Меняется лик Земли, исчезает девственная природа» (Вернадский, 1944, с. 118). Ноосфера — это новое состояние биосферы в геологической истории. Термин «ноосфера», как известно, был введен французским математиком и философом Е. Ле Руа в 1927 г. в своих лекциях в Колледж де Франс в Париже. Геологическое учение о ноосфере разработано В. И. Вернадским (1944). К человеку переходит ведущая роль в круговороте материи и энергии, человеку, вооруженному мощной техникой, стала принадлежать еще большая роль в изменении геологической жизни Земли.

Научное предвидение В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана о новом антропогенном этапе в геологическом развитии Земли полностью подтвердилось. Научно-технический прогресс последних десятилетий XX в. усилил процесс антропогенного изменения атмосферы, биосферы, гидросферы и литосферы. В науках о Земле появилась геология окружающей среды, новое научное направление по изучению земной коры как среды обитания и жизнедеятельности человека (Сидоренко, 1967). Инженерной геологии как науке в развитии этого нового направления принадлежит значительная роль. Е. М. Сергеев считает: «...инженерную геологию можно понимать как науку о ноосфере, что хорошо сочетается с основной задачей инженерной геологии — изучением динамики земной коры под влиянием инженерной деятельности человека» (1973, с. 12, 13).

Рассматривая роль городов в развитии ноосферы, Е. М. Сергеев (1973) указывает, что города представляют собой такие участки земной коры, где человек оказывает на нее наибольшее инженерное воздействие, и поэтому территория каждого города по существу представляет собой «сгусток» ноосферы.

Современные геологические процессы и явления по степени влияния на них инженерно-хозяйственной деятельности человека разделяются нами на три категории:

1) процессы и явления, не испытывающие влияния деятельности человека (природные),

---

[3] Ноосфера — сфера разума.

2) природные процессы и явления, количественно и качественно измененные деятельностью человека (природно-антропогенные),

3) процессы и явления, целиком и полностью вызванные деятельностью человека (антропогенные).

Разделение геологических процессов и явлений на категории вызвано тем, что они различаются количественно и качественно по условиям формирования, развития и проявления (Котлов, 1963б).

В генетическом отношении антропогенные геологические процессы и явления — это самостоятельная категория геологических процессов и явлений, решающая роль в формировании которых принадлежит инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Антропогенные изменения геологической среды в городах и промышленных центрах растут вширь и вглубь.

В ряде индустриально развитых стран мира сформировались грандиозные агломерации, представляющие собой скопления городов и промышленных центров. В Западной Европе это район Рура, побережье Северного моря от Гента до Амстердама, в США — сверхагломерация, расположенная вдоль Атлантического побережья от Бостона до Вашингтона, протяжением около 1000 км, на территории которой проживает 38 млн. человек. В СССР насчитывается более 75 агломераций: в Донбассе, на Урале, в центрально-промышленных районах РСФСР, в Средней Азии и др. В агломерациях, в крупных индустриальных городах ноосфера и антропогенные геологические процессы наиболее ярко выражены. С ростом и укрупнением городов расширяется антропогенная геодинамика.

В СССР по числу жителей города разделяются на крупнейшие (более 500 тыс.), крупные (250—500 тыс.), большие (100—250 тыс.), средние (50—100 тыс.) и малые (с населением до 50 тыс. человек). В настоящее время в СССР насчитывается около 2000 городов и 3600 городских поселков. Чем крупнее город, тем шире его техносфера, тем полнее набор антропогенных геологических процессов. На развитие процессов влияют также функциональный профиль и возраст города. Влияние человека распространяется на значительные глубины. Например, глубина котлованов уже достигает 100 м, карьеров — 800, рудников — 3900 м, откачек нефти, газа и воды — 6—10 км.

В городах коммунистического будущего отрицательное влияние на природу будет постепенно уменьшаться, взаимодействие города и природной среды, антропогенные геологические процессы будут эффективно регулировать с использованием всех средств научно-технического прогресса в направлении оздоровления и улучшения природной обстановки, оптимизации всех компонентов геологической среды.

ИЗУЧЕННОСТЬ И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Проблема изменения природной геологической среды и формирования антропогенных геологических процессов и явлений на территориях городов и промышленных центров составляет часть общей, более широкой проблемы взаимодействия человека и земной коры, проблемы ноосферы.

Естествознание, и особенно география и геология XIX и XX вв., уделяло внимание роли человека в преобразовании природы. Выдающимся произведением в этой области была книга знаменитого американского географа Георга Марша, напечатанная более 100 лет назад под названием «Человек и природа, или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы». Монография в 1866 г. была переведена на русский язык и издана в Петербурге. В этой работе Г. Марш (1866) дал волнующий и яркий анализ разительных и пагубных по своим последствиям изменений природной среды в Америке, Европе и других странах света, вызванных инженерной и хозяйственной деятельностью человека. Кратко Г. Марш обрисовал и изменения природной среды в России.

Научные основы природопользования были заложены трудами русских классиков естествознания А. И. Воейкова, В. В. Докучаева, Д. Н. Анучина, К. Д. Глинки, А. П. Карпинского, В. А. Обручева, И. В. Мушкетова, А. П. Павлова и др. Выдающаяся роль в разработке учения о геологической деятельности человека, о техносфере и ноосфере принадлежит В. И. Вернадскому и А. Е. Ферсману, о содержании бессмертных трудов которых сказано выше.

Следует отметить работу Р. Шерлока «Человек как геологический агент» (Sherlock, 1922), в которой приведен обширный фактический материал, характеризующий изменения природной среды трудовой деятельностью человека.

Проблема взаимодействия природы и общества, человека и земной коры — многогранная проблема и имеет несколько направлений: геологическое, географическое, биологическое, климатологическое, гидрологическое, социологическое, экономическое и др. По всем этим научным направлениям появилось значительное число исследований и публикаций. В большинстве работ рассматривается важнейшее теоретическое положение, что главное воздействие на природную среду человечество оказывает не своей биологической массой, которая в масштабе планеты пока еще ничтожна, и не своим биологическим функционированием, а общественно-производственной и трудовой деятельностью, активным вмешательством в природу через посредство техники. Сфера взаимодействия общества и природы получила разные наименования: «техносфера», «социосфера», «антропосфера», «ноосфера».

Ю. П. Трусов в работе «Понятие о ноосфере» (1968) сопоставляет и оценивает эти термины. Универсальным он считает термин «социосфера», который всесторонне и более «нейтрально» передает суть дела. Термин «техносфера» несколько безлично подчеркивает первостепенную роль техники. «Антропосфера» может восприниматься скорее как «сфера обитания» человека, нежели как сфера его активного действия. Термин В. И. Вернадского «ноосфера» Ю. П. Трусов считает наиболее удачным, так как этот термин подчеркивает главное — активную роль сознания, науки в целесообразно направляемом, а не просто стихийно складывающемся развитии процесса взаимодействия природы и общества.

Дальнейшее развитие учение В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана о ноосфере получило в трудах академиков А. П. Виноградова и А. В. Сидоренко.

А. В. Сидоренко в работе «Человек, техника, Земля» (1967), основываясь на новых фактах и научных представлениях, развил и углубил идеи В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана о геологической деятельности человека, о его роли в изменении лика Земли и верхних слоев земной коры. Он показал огромное разнообразие видов, путей и последствий воздействия человека на состояние земной коры, подробно рассмотрел геодинамические процессы земной коры, возникающие под влиянием добычи полезных ископаемых, земледелия, городского, гидротехнического, промышленного, коммунального подземного строительства и других видов деятельности человека. А. В. Сидоренко намечает два основных направления геологического изучения Земли: геологическое изучение Земли как источника минерально-сырьевых ресурсов и геологическое изучение Земли как среды обитания и жизнедеятельности человека. При этом указываются конкретные пути второго направления.

В работе «Основные проблемы взаимодействия человека и земной коры» (1974) А. В. Сидоренко развивает проблему ноосферы, вопросы формирования геологических процессов и явлений, вызванных деятельностью человека, формулирует задачи, стоящие перед наукой и геологоразведочной службой. Поставлен ряд вопросов в области изучения, прогноза и управления теми новыми геологическими процессами и явлениями, которые возникают в земной коре под влиянием инженерной и хозяйственной деятельности человека. Важно и то, что он выдвинул инженерную геологию как науку на передовую позицию, поставил перед нею новые крупные, актуальные задачи.

Проблемой антропогенных изменений земной коры в СССР занимается довольно широкий круг научных организаций и ученых. К этому направлению относятся исследования в области инженерной геодинамики, технической петрографии (школа академика Белянкина), экспериментальной минералогии, кристаллографии (школа академика Шубникова), технической мелиорации

грунтов, мелиоративной гидрогеологии, сельскохозяйственной мелиорации др.

Положительную роль в развитии проблемы «Человек и природная среда» сыграли современные исследования советских географов (И. П. Герасимов, Е. К. Федоров, Д. Арманд, В. С. Преображенский, В. В. Покшишевский, М. И. Львович, Г. М. Лаппо, С. Л. Вендров, Ю. Г. Саушкин, А. М. Рябчиков, А. С. Крюков, Ю. К. Ефремов, И. М. Забелин, Ф. Н. Мильков, М. И. Будыко, А. Х. Хргиан, С. А. Сапожникова, А. А. Гербут-Гейбович, Ю. Н. Шварева и др.).

Применительно к городам наиболее близки работы Г. М. Лаппо (1972), Ю.Г. Саушкина (1968) и др. Из зарубежных работ следует отметить уникальную монографию французских географов Жаклин Боже-Гарнье и Жоржа Шабо «Очерки по географии городов» (1963), работы П. А. Кратцера «Климат города» (1956) и Кингали Д. «Зарождение и развитие городов на земном шаре» (1965). Значительное количество работ появилось по антропогенному ландшафтоведению, в частности по вопросам изменения ландшафтов городов [А. М. Рябчиков (1970), Ф. Н. Мильков (1973), Ю. Г. Саушкин (1946, 1968), А. С. Крюков (1967), В. П. Лидов (1960) и др.].

По вопросам преобразования человеком природы в СССР издана серия научно-популярных книг. Заслуживают внимания книги Р. К. Баландина (1969), М. Ильина (1951), И. Адабашева (1964) и др.

Значительный вклад в развитие учения об антропогенной инженерной геодинамике внесли ученые и специалисты, занимающиеся специально или попутно исследованиями инженерно-геологических процессов и явлений [Ф. П. Саваренский (1937), Г. Н. Каменский (1936), В. А. Приклонский (1951), И. В. Попов (1959, 1970), Е. М. Сергеев (1963, 1970, 1973), П. Н. Панюков (1962), Ф. В. Котлов (1947—1976), Н. В. Коломенский (1948), Н. Я. Денисов (1960), Л. Д. Белый (1957), Г. Г. Скворцов (1963), И. А. Печеркин (1966, 1969), Е. Г. Качугин (1975), Г. С. Золотарев (1970), Л. Б. Розовский (1957), Г. А. Мавлянов (1958, 1972), П. Ф. Швецов (1955, 1973), Н. Г. Бобов (1968, 1973), Н. И. Кригер (1965, 1971, 1974), А. И. Снобкова (1972, 1973), Ю. А. Морозов (1972), С. Ц. Осодоев (1970), А. М. Худайбергенов (1970) и др.].

Г. Н. Каменский отмечал (1936), что одной из главнейших задач инженерной геологии как науки следует считать изучение геологических явлений, которые возникают под влиянием инженерных сооружений или могут получить дальнейшее развитие в зависимости от сооружений. В отличие от природных геологических явлений он предложил называть их инженерно-геологическими. В 1938 г. академики Ф. П. Саваренский и А. Д. Архангельский писали о существовании обратных связей между сооружениями и геологической средой: геология влияет на сооруже-

ния, наряду с этим и сооружения изменяют природные условия и создают новое направление геологических процессов. Ф. П. Саваренским и А. Д. Архангельским подчеркнута необходимость изучения обратных связей. Начиная с 30-х годов XX в. фронт изучения различных видов инженерно-геологических (антропогенных) процессов в связи с развитием строительства постепенно расширялся, все чаще и чаще стали появляться теоретические, методические и региональные исследования как частного, так и общего характера, однако последних было немного. Общая характеристика геологических процессов, связанных с деятельностью человека, в какой-то мере освещалась в учебниках и пособиях по инженерной геологии: К. Терцаги, Ф. П. Саваренского, И. В. Попова, Н. Н. Маслова, Н. Я. Денисова, П. Н. Панюкова, А. М. Дранникова, Н. В. Коломенского, М. К. Дружинина и др.

Ф. П. Саваренский назвал мероприятия, сознательно направленные человеком на изменение геологической среды и протекающих в ней процессов в заданном направлении, «инженерно-геологическими» (1937), этим самым расширил теоретическое значение инженерной геологии как геологической науки. Позднее И. В. Попов определил инженерную геологию как геологическую науку, изучающую динамику земной коры в условиях хозяйственной деятельности человека. А еще позднее он же предложил рассматривать инженерную геологию как раздел науки о ноосфере Земли (1970).

Работа Е. М. Сергеева и К. П. Мельниковой «Идеи В. И. Вернадского о ноосфере и дальнейшее развитие инженерной геологии» (1963) сыграла значительную роль в расширении предмета инженерной геологии как теоретической науки. Кроме указанных выше в числе работ теоретического и общего характера, специально посвященных антропогенным (инженерно-геологическим) процессам и явлениям, необходимо отметить работы В. А. Приклонского (1951) и Ф. В. Котлова (1959, 1962, 1963б, 1963в, 1963г, 1967, 1970а, 1970г, 1972а, 1973, 1974, 1975б, 1976а, 1976б). В работах Ф. В. Котлова освещены различные аспекты взаимодействия человека и природной геологической среды, большое внимание уделено теории антропогенных геологических процессов и явлений и их проявлению на территориях крупных городов и промышленных центров.

Общие вопросы антропогенной геодинамики были освещены в работах Роберта Леггета (1969, 1976), Е. М. Сергеева (1973), А. И. Перельмана (1972), И. В. Попова (1970), Ф. Ройтера (1972), А. М. Рябчикова (1970), Ю. Г. Саушкина (1968), М. И. Будыко (1972) и др.

Наряду с исследованиями общего характера все больше появляется работ по отдельным аспектам антропогенной инженерной геодинамики: по вопросам геодинамики водохранилищ — Е. Г. Качугина (1975), Г. С. Золотарева (1955), С. Л. Вендрова

(1961), И. А. Печеркина (1966, 1969), Л. Б. Розовского (1957), Л. Б. Иконникова (1972) и др.; об антропогенном карсте — Ф. В. Котлова (1963а), А. Е. Ходькова (1959), Г. В. Короткевича (1970), Г. А. Максимовича (1963) и др.; об антропогенном литогенезе и антропогенных отложениях—Ф. В. Котлова (1947, 1963в, 1975), Е. М. Сергеева (1973), М. И. Хазанова (1971, 1975), И. К. Сипягиной (1972), Ю. М. Абелева, В. И. Крутова (1962), А. М. Худайбергенова (1963) и др.

Вопросы антропогенного изменения пород освещены в работах Ф. В. Котлова (1970б), Н. В. Коломенского (1948) и др. Весьма обширная литература имеется по технической мелиорации грунтов (М. М. Филатов, Е. М. Сергеев, С. С. Морозов, С. Д. Воронкевич, Б. А. Ржаницын, Л. В. Гончарова, В. В. Аскалонов, Ф. В. Котлов, В. М. Безрук, Е. Г. Борисова, А. С. Коржуев, И. М. Литвинов, В. В. Охотин, Н. Г. Трупак, Х. Р. Хакимов, Я. А. Дорман, Д. Д. Баркан, А. Н. Соколовский и др.). В 1973 г. вышел в свет капитальный труд Л. В. Гончаровой «Основы искусственного улучшения грунтов». Это — первая работа монографического характера по технической мелиорации грунтов. Об антропогенном оползнеобразовании опубликованы работы Ф. В. Котлова, З. Т. Киселевой, А. И. Снобковой, Г. З. Блохмана, В. С. Курдякова, Е. Д. Брагина и др.

Имеются работы, посвященные антропогенным явлениям: эрозии, абразии, селям; геокриогенным явлениям, субтерральным процессам, связанным с подземным строительством, гидрогеологическим процессам антропогенного типа (подтопление, загрязнение, образование депрессий), процессам оседания, просадок, набухания грунтов и другим антропогенным процессам, распространенным на территориях городов. Размеры настоящей работы не позволяют автору даже указать главнейшие публикации по этим вопросам.

В заключение обзора отметим работы, посвященные комплексному изучению антропогенных геологических процессов в пределах отдельно взятого города на территории СССР. По степени изученности на первом месте стоит столица СССР — Москва.

Ф. В. Котловым проведены широкие исследования изменения природных условий территории Москвы под влиянием деятельности человека (1962) и дана детальная характеристика антропогенных геологических процессов. Позднее, в 1963—1972 гг., А. И. Снобковой выполнена интересная работа по инженерно-геологическому анализу вертикальных смещений земной поверхности Москвы (1972), в ряде ее статей дана характеристика генетических типов осадок и факторов их образования. Г. Н. Сазоновым (1973) выполнено исследование инженерно-геологических процессов, возникающих при проходке горных выработок московского метрополитена, с целью прогноза этих процессов.

Предметом детального комплексного изучения были изменения природной среды и антропогенные геологические процессы на территории Киева. Результаты исследований изложены в монографии Ф. В. Котлова, И. А. Брашниной и И. К. Сипягиной (1967). Итоги комплексного изучения антропогенных геологических процессов и явлений на территории Ташкента изложены в монографии А. М. Худайбергенова (1970) и в ряде его статей.

Детальные комплексные исследования антропогенных геологических процессов на территориях таких крупных городов, как Ленинград, Одесса, Баку и Архангельск, были выполнены с 1963 по 1970 г. научными сотрудниками ПНИИИС'а Госстроя СССР под руководством автора. Результаты исследования изложены в трех научно-технических отчетах, частично опубликованы в ряде статей: по Ленинграду — И. К. Сипягиной (1963); по Одессе — Ф. В. Котлова (1969), А. И. Снобковой (1967), Н. М. Ильинской (1969), И. К. Сипягиной (1968); по Баку — Ю. А. Морозова (1972), Р. Ю. Яхьяева (1971) и др. Антропогенные геологические процессы на территории Архангельска освещены в статьях Ф. В. Котлова, А. И. Снобковой и З. Т. Киселевой (1975а). С. Ц. Осодоевым выполнены капитальные исследования в г. Улан-Удэ и в Иволгино-Удинской депрессии, результаты которых изложены в его кандидатской диссертации (1970) и в ряде статей. В монографии Г. А. Мавлянова, А. М. Худайбергенова, М. Ш. Шерматова дана характеристика инженерно-геологических процессов на территории г. Чирчик (1972).

Вопросы антропогенной инженерной геодинамики рассматривались на ряде всесоюзных совещаний и международных конгрессов. Отметим некоторые из них: Межведомственное совещание по инженерной геологии 3—8 июня 1968 г. в г. Москве (1970), Научно-техническое совещание по инженерно-геологическим проблемам градостроительства 1971 г. в г. Баку (1971, 1973), Всесоюзное совещание по инженерной геологии в 1972 г. в Тбилиси, совещание в 1972 г. по проблеме «Рациональное использование земной коры» в Москве (1974), Всесоюзная межведомственная конференция «Климат — город — человек» (1973), Всесоюзная конференция «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды» (Ленинград, 1976), I и II инженерно-геологические конгрессы (Париж, 1970; Сан-Пауло, 1974) и 24 и 25 сессии Международного геологического конгресса в Канаде (1972) и Австралии (1976) и др.

В изучении антропогенной инженерной геодинамики на территории городов и промышленных центров многое уже сделано: выполнен большой объем исследований и опубликовано значительное количество работ, достигнуты значительные успехи этого направления. Однако надо отметить, что геологические процессы, вызванные деятельностью человека, изучены несравненно

хуже природных геологических процессов. До сих пор отсутствуют капитальные обобщающие труды по теории, методике изучения и прогноза антропогенных геологических процессов.

Настоящая работа является первым обобщением итогов многолетнего изучения антропогенных процессов, развитых на территории городов. Современная эпоха требует повысить внимание к исследованиям антропогенных изменений природной геологической среды, расширить фронт научных работ по теоретическому, региональному и экспериментальному изучению антропогенных геологических процессов и явлений.

Важнейшая задача — разработка теоретических основ и методики инженерно-геологических прогнозов изменений геологической среды, научных основ управления антропогенными геодинамическими процессами.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Градостроительство имеет давнюю историю. «Противоположность между городом и деревней начинается вместе с переходом... от племенного строя к государству, от местной ограниченности к нации и проходит через всю историю цивилизации...» [4].

Марксистско-ленинская историческая наука изучает города как историческую категорию, обусловленную прежде всего социально-экономической структурой общества.

Строительство, структура, планировка, архитектура, инженерное оборудование, население и хозяйство городов непрерывно и закономерно изменялись по мере развития человеческого общества от рабовладельческого строя к феодальному, от феодального — к капиталистическому и от капиталистического — к социалистическому.

Первые города появились в III—IV тысячелетиях до н. э. в раннем рабовладельческом обществе. Это были города Древнего Востока. Некоторые исследователи (К. Девис и др.) образование первых небольших городов относят к VI—V тысячелетиям до н. э. Градообразующими факторами были развитие ремесел, промыслов, торговли, транспорта, портового хозяйства, строительство военно-оборонительных сооружений, формирование политических, административных, религиозных, культурных центров и т. п. Уже первые города Древнего Востока имели элементы благоустройства: водопроводы, канализацию, мощеные улицы и пр.

На территории СССР зачатки городских поселений в Средней Азии и в Закавказье относятся к I тысячелетию до н. э.

---

[4] *Маркс К.* и *Энгельс Ф.* Соч., т. 3, с. 49—50.

В государстве Урарту — городские поселения Тушпа, Тейшебании (Курмир-Блур) и другие — появились в IX—VIII вв. до н. э., города Арташат, Тигранакерт, Армази, Диоскурия, Кабалах и другие — на территории Азербайджана, Армении и Грузии. В Средней Азии возникли такие города, как Хорезм, Бактрия, Согдиана (II в. до н. э.). В результате греческой колонизации Северного Причерноморья начиная с VI в. до н. э. возникали античные города — полисы. Они известны в Крыму и других южных районах нашей страны (Херсонес, Пантикапея (Керчь), Мирмекий, Ольвия и др.). Эти города включали военно-крепостные стены, башни, валы, жилую застройку, храмы, бани и другие сооружения.

На территории станицы Тамани археологами обнаружен основанный греками в начале VI в. до н. э. город Тмутаракань — Гермонаса, жители которого занимались оружейным ремеслом. На территории современного города Анапы недавно обнаружены остатки города древнегреческой колонии Горгиппии, существовавшего с IV в. до н. э. по II в. н. э.

Во II в. до н. э. в Крыму возникло рабовладельческое скифское государство со столицей Неаполем Скифским (близ нынешнего Симферополя). Скифские городские поселения были распространены в лесостепной полосе Юга СССР и просуществовали до III—IV вв. н. э. Как показали археологические исследования, на территории СССР существовало несколько тысяч городищ, которые обычно располагались вблизи рек, озер, морей, чаще на возвышенных местах и на участках, имеющих естественную защиту в виде водоемов, оврагов, балок и т. п. Многие городища мира относят к раннему железному веку, к эпохе бронзы (середина II тысячелетия до н. э.). Однако не все городища следует считать городами или городскими поселениями в полном смысле этого слова. В эпоху феодализма, в IX—XI вв., города существовали на территории Италии, Франции, Германии и других стран. На Руси зачатки славянских городских поселений известны в VI—IX вв. В IX—X вв. вокруг городков-крепостей возникают ремесленно-торговые предместья — посады. В числе русских городов в эпоху феодализма рано выделились Киев, Новгород, Смоленск, Чернигов, Псков, Полоцк и др. В Средней Азии в VIII—XII вв. н. э. крупными экономическими и культурными центрами были Самарканд, Бухара, Ургенч, Мерв. В Грузии в VI в. н. э. столицей был г. Тбилиси. В Армении из крепости Эребуни, воздвигнутой в VIII в. до н. э., выросла столица Армении — г. Ереван. В XI в. на Руси по неполным данным существовало 86 городов, в XII в. — 120, ко времени монгольского нашествия — 250. Крупнейшими русскими городами XI—XIII вв. — центрами ремесленного производства и торговли были Киев, Смоленск, Новгород, Псков, Чернигов, Полоцк, Ростов, Суздаль, Галич, Владимир-Волынский, Владимир-на-Клязьме и др. Население этих городов в то время

исчислялось десятками тысяч (Киев, Новгород), но чаще составляло 10—20 тыс. человек. Строились единичные каменные здания и сооружения (крепости, стены, дворцы, храмы), но жилой фонд был преимущественно деревянным. Благоустройство было еще примитивным. В Новгороде в XI в. появился первый в средневековой Европе водопровод. Позднее, в XIII—XVII вв., по мере расширения и централизации Российского государства, по мере развития производства и торговли возникают новые и укрупняются существующие города Москва (1147), Тверь, Нижний Новгород (1221), Рязань (1095), Архангельск (XVI в.), Ивангород (1492), Вологда, Казань, Ярославль, Астрахань, Тула, Баку, Шемаха, Нахичевань и многие другие.

Москва стала столицей, крупным политическим, экономическим и культурным центром страны. В XVI в. в русском государстве насчитывалось более 220 городов. В XVI—XVII вв. на Волге появились города Симбирск (1648), Саратов, Самара, Царицын, Астрахань, на р. Белой — Уфа, на р. Оке — Орел, на юге России — Воронеж, Белгород, Новый Оскол, в Сибири — Якутск (1632), Томск (1604), Иркутск (1669), Енисейск (1618), Тобольск и др.

В XVIII в. было построено 206 новых городов. В 1703 г. основан — Петербург — новая столица России. При Петре I и позднее создавались города-крепости и города-порты на берегах Балтийского, Азовского, Белого, Черного морей (Таганрог, Азов, Севастополь, Одесса, Николаев, Херсон и др.).

В середине XIX в. возникают города Николаевск-на-Амуре, Владивосток, в конце XIX в. — Мурманск, Новороссийск, Туапсе и др.

В эпоху развития капитализма, в конце XIX в., происходит интенсивный рост городов и городского населения: «...процент городского населения постоянно возрастает, т. е. происходит отвлечение населения от земледелия к торгово-промышленным занятиям. Города растут вдвое быстрее, чем остальное население. Следовательно, громадный рост крупных индустриальных центров и образование целого ряда новых центров есть один из характернейших симптомов пореформенной эпохи»[5].

В эпоху империализма активизируются процессы урбанизации, агломерирования, укрупнения городов. Город наступает на деревню и постепенно ее «съедает». Растут города-гиганты, этажность, площади, численность населения, развиваются промышленность, транспорт, коммунальное хозяйство городов. Уродуется и загрязняется природная среда крупных городов. Город отрывает человека от природы, ухудшает его жизненные условия, человек лишается чистого воздуха, чистой воды, флоры, здоровой среды. В крупных городах возникают кризисные ситуации.

---

[5] *Ленин В. И.* Полн. собр. соч., т. 3, с. 560.

2561

Согласно исследованиям демографов, города с населением менее 200 тыс. человек еще сохраняют связи с природой внутри и вне города (поблизости лес, поле, луг), а более крупные города их все более и более утрачивают.

После Великой Октябрьской социалистической революции в СССР коренным образом изменились принципы градостроительства. Отмена частной собственности на землю и природные ресурсы, плановое ведение социалистического хозяйства позволили успешно решать такие кардинальные задачи, предусмотренные в Программе КПСС, решениях партии и правительства, как:

а) рациональное и более равномерное распределение производительных сил, ликвидация экономических контрастов между центрально-промышленными и отсталыми окраинами страны и соответственно более рациональное размещение городов,

б) ликвидация противоположностей между городом и деревней,

в) ограничение роста крупнейших, крупных и больших городов, стимулирование роста малых и средних городов,

г) улучшение планировочной структуры, инженерного оборудования, качества строительства, благоустройства, санитарного состояния городских территорий, превращение городов в здоровую, удобную среду жизнедеятельности и обитания человека.

В 1917 г. в нашей стране насчитывался 721 город. За годы Советской власти построено более 1000 новых городов и более 2000 городских поселков. Бóльшая часть городов создана на базе небольших населенных пунктов и примерно $^1/_3$ — заново. В среднем теперь на географической карте Советского Союза появляется ежегодно 23 новых города и 65 городских поселков. С 1918 по 1972 г. в городах и селах построено 2650,2 млн. м^2 общей полезной жилой площади. По масштабу жилищного строительства СССР занимает первое место в мире. К 1974 г. в СССР насчитывалось около 2000 городов и 3600 городских поселков. Площадь, занимаемая городами, составляет 8 млн. га. Многие города являются промышленными центрами. Общая стоимость городов составляет около $^1/_3$ основных фондов народного хозяйства СССР. Растет городское население. В 1897 г. оно составляло 15%, в 1917 г. — 18, в 1940 — 33, в 1950 — 39, в 1960 — 49, в 1970 — 56% [Народное хозяйство СССР в 1972 г. (1973)], в 1975 — 60%, к 1990 г. ожидается 70%, к 2000 г. — 75—80% [6]. За годы Советской власти городское население увеличилось в 3,3 раза, образовано 70% городов.

Новые города возникли во всех географических зонах страны, во всех союзных республиках и значительно выравнили крайне неравномерное в прошлом территориальное размещение

---

[6] «Литературная газета», 1976, 28 января.

городов. В РСФСР построено свыше 550 городов, в том числе более 100 городов возникло на Урале, более чем вдвое увеличилось число городов к востоку от Урала; в северных районах Европейской части СССР до революции было всего 9 городов, а уже к 1951 г. их насчитывалось 21.

В Армении, Грузии, Киргизии, Таджикистане, Туркмении, Казахстане, Узбекистане и Азербайджане более $^1/_3$—$^1/_4$ городов основано при Советской власти. На Украине и в Молдавии возникло около 250 городов. В Донбассе до революции было всего 6 городов, в 1951 г. их насчитывалось около 60, а теперь — около 100. В Белоруссии и Советской Прибалтике возникло 90 городов.

Рост городов и городского населения — глобальный процесс, усилившийся в годы научно-технической революции. В начале XIX в. городское население планеты составляло всего 2%, в 1966 г. — 32%. Сейчас в индустриально развитых странах оно превышает 50%, а в ряде стран достигло 70—85% (ФРГ, Англия, Франция, США и др.).

По данным Жаклин Боже-Гарнье и Жоржа Шабо (1963), население земного шара с начала XIX до середины XX в. увеличилось в 2,64 раза, тогда как в городах с числом жителей более 5 тыс. — в 10 раз, более 100 тыс. — в 20,1 раза. Городское население неравномерно распределено в различных частях света. В Америке оно составляет 57%, в Европе — 50, в Азии — 22, в Африке — 19% (Кудрявцев, 1971).

Города не только рождаются вновь, но и умирают, исчезают с лика планеты, хотя многие из них возрождаются вновь. Причины исчезновения городов — войны, землетрясения, морские трансгрессии, эоловые процессы, истощение природных ресурсов, полная выборка полезных ископаемых, экономический упадок, урбанизация (процесс поглощения малых городов большими) и др. Тысячи городов исчезли с карты мира, остатки их обнаруживаются геологами, археологами, историками и географами под песками в зоне современных пустынь, под культурными слоями и даже под водой в зоне шельфа морей и океанов — в результате тектонического опускания земной коры и эвстатического повышения уровня моря, глубинных оползней и др.

На Черноморском побережье СССР обнаружены остатки античных и средневековых затопленных морем городов (Кригер, Севастьянов, 1973): Херсонеса, Фанагории, Нимфея, Пантикапея, Диоскурии, Ольвии, Себастополиса и др. Затопленные города обнаружены на побережье Средиземного и других морей. О покинутых древних городах Азии, Африки и Южной Америки рассказывает книга Б. Бродского «Покинутые города» (1963). Много городов уничтожалось войнами. Начиная с 3200 г. до н. э. на Земле произошло 14513 больших и малых войн, которые унесли 3 млрд. 640 млн. человеческих жизней.

В мире человечество прожило только 292 года. Много городов на Руси было уничтожено во время монгольского нашествия и последующих войн.

Во время второй мировой войны 1939—1945 гг. многие европейские города были разрушены на $^3/_4$. В СССР было разрушено 1710 городов, 40 тыс. сел и деревень, 32 тыс. промышленных предприятий. Бóльшая часть их восстановлена.

Много городов потеряли свою самостоятельность в результате процессов урбанизации. Например, в 1960 г. Москва присоединила и включила в свою черту пять городов: Бабушкин, Перово, Люблино, Кунцево и Тушино. Одно из проявлений урбанизации — глобальный процесс укрупнения городов. Во всем мире увеличивается число больших (100—250 тыс. человек населения), крупных (250—500 тыс. человек) и крупнейших (более 500 тыс. человек) городов.

В общем числе городов Земли доля городов с населением более 100 тыс. человек в 1850 г. составляла 2,3%, в 1950 г. — 12,5, в 1960 г. — 20%. По числу городов с населением более 100 тыс. человек СССР занимает первое место в мире. В 1973 г. их было в СССР 236, в США — 156 (1970), в Англии — 60 (1971), во Франции — 35 (1968), в Японии — 150 (1970), в Индии — 151 (1971), в Австралии — 4 (1971), в Мексике — 61 (1970) и т. д.

В СССР в 1959 г. было только три города-«миллионера»: Москва, Ленинград и Киев. В 1975 г. их насчитывалось уже 13: Москва, Ленинград, Киев, Ташкент, Баку, Харьков, Горький, Новосибирск, Куйбышев, Свердловск, Минск, Тбилиси и Одесса. Ближайшие кандидаты в «миллионеры» — города с населением более 800 тыс. человек: Ереван, Донецк, Челябинск, Казань, Днепропетровск, Волгоград, Омск, Ростов-на-Дону, Пермь. Предполагается, что к началу 90-х годов в СССР будет 30 городов-миллионеров. В СССР крупных индустриальных и культурных центров с населением более 500 тыс. человек в 1973 г. было 24 (рис. 1).

Некоторые города за рубежом достигли чудовищных размеров: Токио (12,2 млн. человек, 1973), Шанхай (11 млн. человек), Нью-Йорк (8 млн. человек, с пригородами 14 млн.) и др. Население Большого Лондона (7,45 млн. человек, 1971) составляет около 20% населения Великобритании, население Большого Парижа (8,19 млн. человек, 1968) свыше 16% населения Франции. Более 30% населения Аргентины сосредоточено в ее столице Буэнос-Айресе (8,35 млн. человек, 1972).

Гигантские размеры городов мешают многим сторонам жизни городского населения, в первую очередь с точки зрения санитарно-гигиенической — использованию наземного транспорта, снабжению, инженерному оборудованию городских территорий и пр. В СССР ограничивается рост крупных городов. Осуществляется ряд действенных мер, запрещающих новое промышленное

строительство и расширение действующих предприятий в крупных городах с населением свыше 500 тыс. человек и в окружающих эти города пригородных зонах в радиусе от 20 до 50 км. Взят курс на дальнейшее развитие малых перспективных городов. Мероприятия по ограничению роста крупных городов стали осуществляться почти во всем мире, однако в капиталистических странах они затруднены бесплановым ведением хозяйства и господством частной собственности.

Урбанизация как процесс развития и расширения городов началась еще в XIX в., во второй половине XX в. урбанизация усилилась, неравномерно развиваясь во времени и пространстве. Раньше началась урбанизация в Европе, когда под влиянием промышленного переворота происходил бурный рост городов. Население городов с числом жителей более 100 тыс. в 1800—1850 гг. увеличилось на 150%, в 1850—1900 гг. — на 250%, а с начала XX в. темпы урбанизации стали замедляться в связи с исчерпанием резервов перемещения сельского населения в города. Например, в Англии доля городского населения еще в 1951 г. достигла 80,7%. В Северной Америке и Австралии урбанизация началась позднее, но достигла огромного размаха.

Возникновение крупных агломераций следует рассматривать как высшую форму проявления современного урбанизма. Агломерации возникают на базе больших угольных, железорудных бассейнов, нефтегазоносных провинций, крупных экономических промышленных районов, курортов, транспортных магистралей и т. п. При агломерировании скопление и срастание городов продиктовано наличием общей экономической основы, хозяйственных взаимосвязей, совместным использованием природных ресурсов и т. п. Обычно агломерации возникают вокруг крупнейших и больших городов. О некоторых агломерациях сказано выше. В мире насчитывается 199 агломераций с населением более 1 млн. человек в каждой (Лаппо, 1972). В Японии на побережье внутреннего моря в районе Хансина от г. Осака (3100 тыс. жителей) до г. Кобе (1150 тыс.) сформировалось скопление 30 городов вокруг залива Осака. В состав этой агломерации входят довольно крупные промышленно-торговые центры: города Сакаи (330 тыс.), Амагасаки (400 тыс.), Нисиномия (260 тыс.) и др.

В крупнейшей агломерации Западной Европы — в Руре — на небольшой территории (3,3 тыс. км^2) разместилось 17 городов и 4 сельских округа с населением 4,8 млн. человек (Лаппо, 1972). В Нидерландах существует агломерация, объединяющая города Амстердам, Роттердам, Гаагу и другие с общей численностью населения 4 млн. жителей. Агломерация Большой Калькутты включает 37 городов.

В СССР насчитывается более 75 агломераций, в том числе более 20 агломераций с населением более 1 млн. человек в

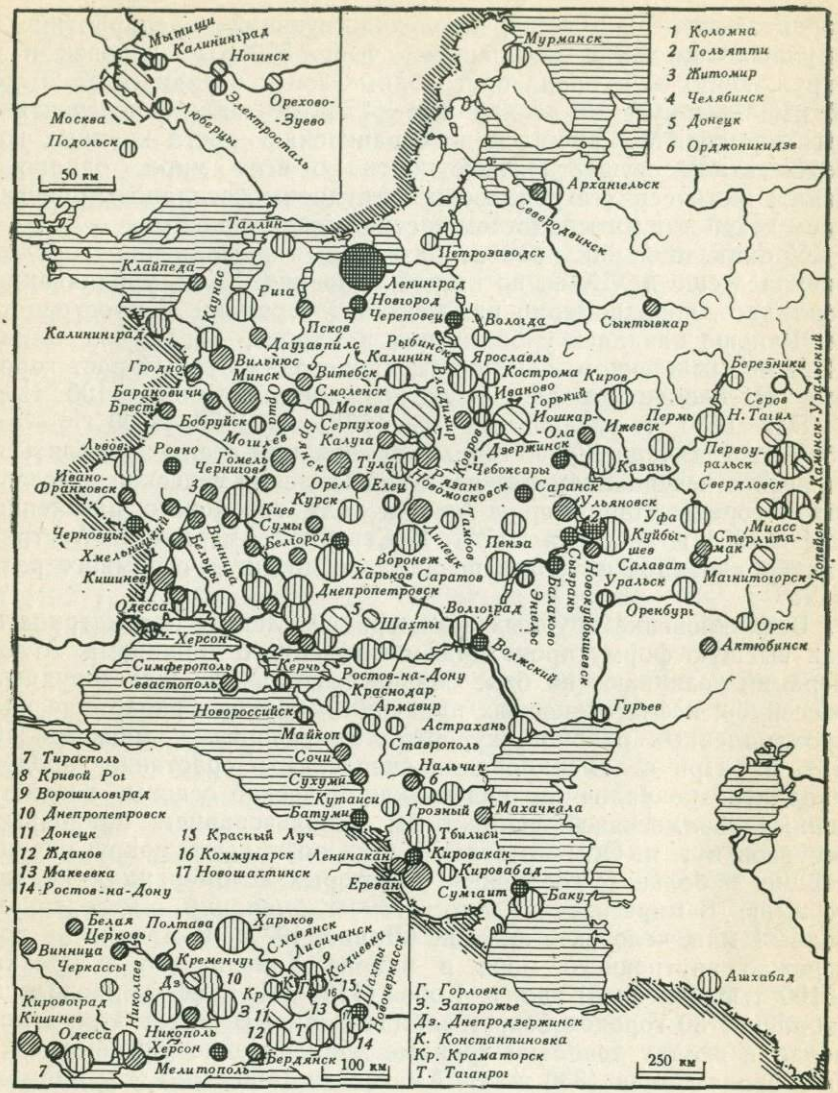
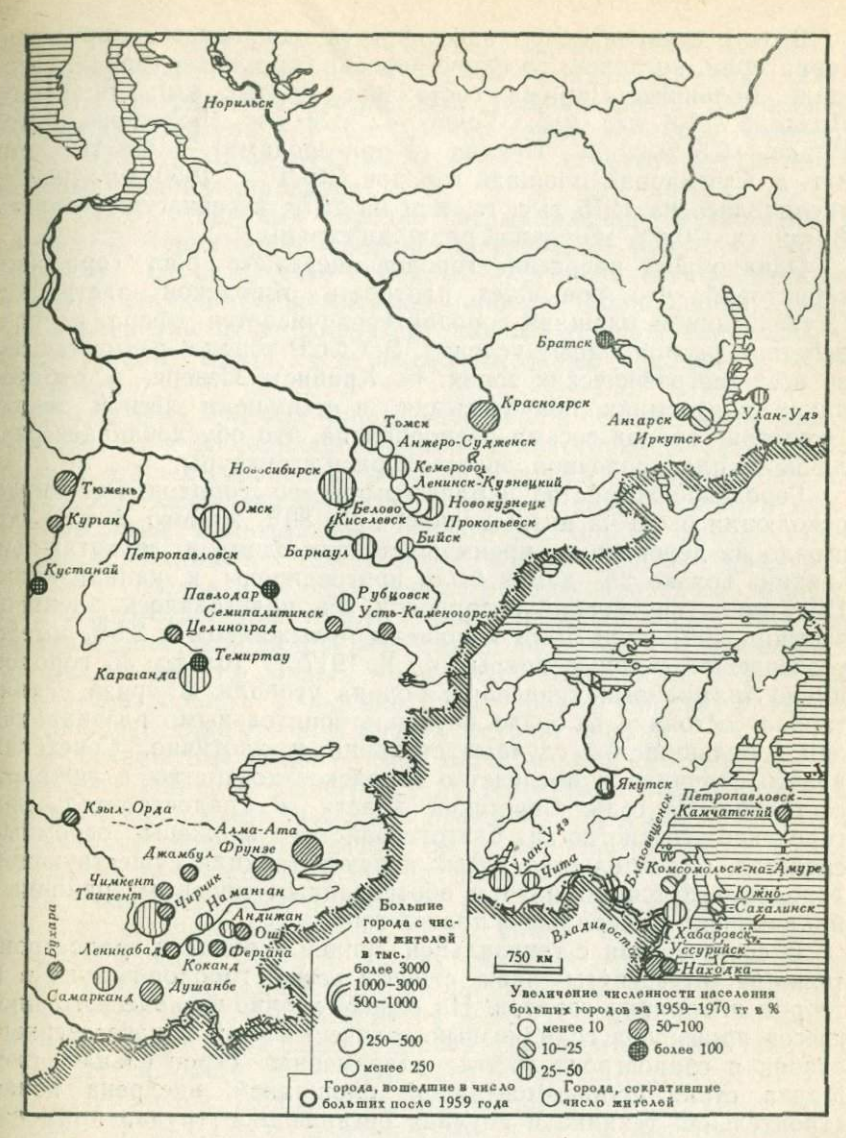


Рис. 1. Большие города СССР (на 1970 г., по Г. М. Лаппо, 1972)

каждой (Московская, Ленинградская, Тульская, Харьковская, Донецкая, Горьковская, Волгоградская, Саратовская, Ростовская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Омская, Новосибирская, Красноярская, Ташкентская, Карагандинская, Бакинская и др.). Например, Свердловская агломерация объединяет 38 городов и 80 рабочих поселков. Градостроительное освоение территорий идет вдоль дорог, рек, озер, водохранилищ,



морских побережий, в зонах месторождений полезных ископаемых и т. п.

Росту агломераций способствует индустриализация и развитие транспорта. В капиталистических странах агломерация резко ухудшает состояние природной среды и порождает дискомфортные условия. В СССР стихийный процесс агломерирования постепенно заменяется социалистическими формами рационального группового расселения при сохранении свободных пространств между городами и улучшении окружающей среды.

Вместе с увеличением населения городов растут городские территории, поглощая соседние деревни, поселки и города. Площадь Большого Парижа составляет 1,4 тыс. км², Большого Лондона — 1,8 тыс. км², Токио — 2 тыс. км², Большого Нью-Йорка — 6,5 тыс. км², Пекина (с пригородами) — 16,8 тыс. км² и т. д. Суммарная площадь городов СССР с 1950 по 1967 г. увеличилась на 1275 тыс. га, или на 20%, и сейчас составляет 8 млн. га — 0,4% земельной площади страны.

Однако рост населения городов опережает рост городских территорий, что повышает плотность городской застройки. С увеличением площади городов увеличивается сфера их воздействия на природные условия. В СССР города размещаются во всех географических зонах: на Крайнем Севере, в субтропиках, в пустынях, полупустынях, в степной и лесной зонах. Экология городов весьма разнообразна, что обусловливает различие их планировочной, архитектурной структуры.

Городское хозяйство и благоустройство городов России до революции было на низком уровне. До 80% жилого фонда состояло из деревянных, преимущественно одно- и двухэтажных зданий. Только 2% домов были присоединены к канализации, 15% имело внутренний водопровод, 5% пользовалось электричеством, 20% улиц были замощены булыжником и 2,5% имели усовершенствованные покрытия. К 1917 г. только 35 городов имело трамвайный транспорт. Города утопали в грязи, санитарное состояние их было неудовлетворительным, развивались они в большинстве случаев стихийно и хаотично. Советская власть получила в наследство городское хозяйство в тяжелом состоянии. За годы Советской власти в градостроительство, городское хозяйство и благоустройство вложены огромные средства. Строительство новых и реконструкция существующих городов ведутся по научно обоснованным проектам районных планировок и генеральных планов города.

В соответствии с генеральной линией в области градостроительства отвергнуты идеи строительства городов-гигантов и теории отмирания городов. На основе научно-технического прогресса произошел грандиозный количественный и качественный скачок в градостроительстве; современная строительная площадка стала сборно-монтажной площадкой, внедрена новая строительная техника и научная организация труда, применяются новые конструкции фундаментов и зданий, новые, более легкие и более прочные, строительные материалы. Улучшены планировка и проектирование городов, инженерно-геологическое обоснование планов, инженерная подготовка, инженерное оборудование и благоустройство городов. Типовое проектирование и применение сборных типовых элементов позволило индустриализировать, ускорить и удешевить градостроительство. Улучшена жизненная среда городов. Только за последнее десятилетие проложен водопровод в 1400 городах и поселках, более

чем в 1000 городах проложена канализация, 2800 городов и поселков газифицированы. В 2 раза увеличилось количество домов с центральным отоплением; обеспеченность ванными и душевыми возросла в 3 раза. Город Новый Узень на Мангышлаке — первый город в СССР, который строится с системой полного кондиционирования.

В СССР в крупных городах, испытывающих недостаток в свободных территориях, широко развивается высотное строительство. Строительство сборных крупнопанельных зданий в 9—16 этажей (экономически наиболее оправданное) стало принимать массовый характер, наряду с этим все чаще и чаще стали строить каркасно-панельные здания в 20—30 этажей.

Достигнуты большие успехи не только в строительстве новых городов, но и в социалистической реконструкции существующих. В старых городах широко развернулось новое строительство, современный жилой фонд в них в 5 раз превышает дореволюционный. Большая часть нового жилищного фонда создана после Великой Отечественной войны. Ярким примером больших успехов в области реконструкции городского хозяйства и благоустройства служит столица нашей родины — Москва. За годы Советской власти жилищный фонд Москвы увеличился в 6 раз, более 98% жилых домов имеет водопровод, 99% — газ, 97% — центральное отопление. По уровню благоустройства Москва опередила столицы многих государств мира.

В соответствии с Программой КПСС в перспективе предстоит еще более широкое развитие строительства новых городов и реконструкции существующих, поэтому вопросы, связанные с инженерной геологией городов, будут приобретать все большее и большее научное и практическое значение.

Освоение огромных природных богатств, сырьевых и энергетических ресурсов Крайнего Севера, Урала, Сибири, Дальнего Востока, Средней Азии и других регионов страны потребует строительства новых городов и промышленных центров. К 2000 г. численность городского населения в СССР увеличится до 250—300 млн. человек, площадь городов расширится примерно на 2 млн. га, возрастет до 10 млн. га и более и будет составлять 0,45% земельной площади страны (Белоусов и др., 1973; Кудрявцев, 1971). Градостроительство будет осуществляться не только в благоприятных климатических условиях, но и в зонах вечной мерзлоты, болот, пустынь, полупустынь, сейсмоопасных, высокогорных районах, на территориях с активным развитием отрицательных экзогеодинамических явлений, слабых грунтов и неблагоприятных гидрогеологических условий. Это повысит роль инженерной геологии и гидрогеологии в научном обосновании проектов районных планировок, генпланов городов, в проектировании инженерной подготовки и осуществлении инженерно-геологических мелиораций.

В Программе КПСС в отношении перспектив градостроительства указывается на необходимость устранить чрезмерную скученность населения в крупных городах, развивать перспективные малые и средние города, преобразовывать сельские населенные пункты в укрупненные поселения городского типа, что будет способствовать преодолению существенных различий между городом и деревней и выравниванию уровней экономического развития районов страны.

В соответствии с Программой КПСС в планах развития народного хозяйства СССР, в рекомендациях ряда научно-технических конференций и совещаний по проблемам градостроительства намечены детальные мероприятия, направленные на решение следующих задач:

применение новых коммунистических форм планово-регулируемых комплексных систем группового расселения жителей нашей страны;

более рациональное размещение городов с учетом развития производительных сил и народного хозяйства страны;

улучшение планировочной структуры городов;

формирование индивидуального архитектурного облика каждого города в отдельности с максимальным учетом особенностей природного ландшафта и инженерно-геологических условий;

достижение инженерной и эстетической гармонии города и природной среды;

повышение комплексного социально-экономического, экологического, технического и художественного эффекта градостроительства;

повышение качества, удешевление и ускорение строительства, увеличение долголетия зданий и сооружений;

улучшение благоустройства, санитарного состояния городов, охраны природы и использования природных ресурсов;

ускорение научно-технического прогресса в изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации городов;

максимальное развитие индустриальных методов строительства, автоматизации, научной организации труда, увеличение производительности труда;

оптимизация типового проектирования, соотношения этажности и плотности застройки, структуры микрорайонов, функционального инженерно-строительного зонирования, инженерно-геологического районирования городской территории, более рациональное использование поверхности и подземного пространства;

повышение качества проектов районных планировок и генпланов городов;

перевод условно непригодных городских земель в категорию пригодных, развитие в связи с этим рекультивации и инженерно-геологического мелиорирования, что позволит дополнительно освоить площадь примерно в 1,5 млн. га.

Советские города должны быть и безусловно будут городами коммунистического типа: самыми лучшими, благоустроенными, удобными, здоровыми и красивыми в мире.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

Современный город представляет собою сложный организм, в котором взаимодействуют различные виды человеческой деятельности, элементы материальной основы и последствия воздействий человека на окружающую природную среду. Правильно начинают называть город «сгустком ноосферы», концентратом антропогенных воздействий и изменений геосреды, ареной широких антропогенных геологических процессов и явлений.

Структуру современного города составляют зоны: промышленная, селитебная, коммунально-складская, внешнего транспорта, прочих земель. В состав материальных элементов города входят промышленные и энергетические предприятия, жилая и общественная застройка, улицы, площади, наземный городской транспорт, мосты, виадуки, акведуки, метрополитен, подземные переходы, коммунально-бытовые предприятия, стадионы, бассейны, подземные коммуникации, шахты, штольни, штреки, карьеры, грунтовые отвалы, железнодорожные станции, морские и речные порты, пристани, аэропорты, набережные, плотины, гидростанции, водохранилища, шлюзы, каналы, пруды, склады, зеленые насаждения, подсобные хозяйства, поля орошения, питомники, подземные хранилища, телерадиомачты и многое, многое другое. Все материальные элементы между собой взаимосвязаны, распределяются по функциональным зонам города.

Каждый материальный элемент города оказывает свое соответствующее влияние на природную среду. Например, завод своим весом уплотняет грунты основания, сокращает площадь инфильтрации атмосферных осадков, уменьшает площадь испаряющей поверхности, оказывает утепляющее воздействие на подстилающие грунты, дает утечки технических вод из заводских коммуникаций, вызывающие повышение уровня грунтовых вод и процесс подтопления территории; часто сбрасывает сточные неочищенные воды, загрязняет водоемы, почвы, подземные воды; выбрасывает пыль, газы, дым и прочие аэрозоли — загрязняет атмосферу. Синтез различных воздействий создает сложную и пеструю картину изменений природной обстановки.

Для города характерно большое разнообразие видов строительства: гражданское, промышленное, транспортное, гидротехническое, горное, коммунальное и др. Еще более разнообразны

типы, конструкции, размеры, вес зданий и сооружений. Виды строительства и в особенности типы зданий и сооружений в какой-то степени обусловливаются экономическим профилем *города и его природными условиями.*

Города по своему профилю разделяются на однофункциональные и многофункциональные. Однофункциональных городов в историческом прошлом было много, теперь их в чистом виде осталось немного, преобладают многофункциональные города.

По своей специализации, ведущей градообразующей основе выделяются города: горнодобывающие, промышленные различной специализации, гидроэнергетические, транспортные, торговые, военные, курортные, учебные, научные, музейные, административные и др. Промышленные города по производственному профилю разделяются на города черной металлургии, цветной металлургии, угольной промышленности, нефтяной промышленности, химической промышленности. Однако преобладают города, сочетающие административные, производственные, транспортные, торговые, научные, культурные и другие функции. Такими многофункциональными городами являются все 15 столичных городов наших союзных республик и преобладающее число крупнейших и крупных городов СССР. Профиль некоторых городов отражен в их названии: Солигорск, Соликамск, Нефтеабад, Нефтекамск, Железногорск, Бокситогорск, Шахтерск, Шахты, Электросталь, Электрогорск, Советская Гавань, Асбест, Апатиты и др.

С разнообразием функционального профиля города, видов строительства, типов, зданий и сооружений связано разнообразие воздействий на природную среду: *глубина заложения сооружений* [в крупных городах мира глубина заложения наземных сооружений колеблется от 0 до 35 м и более, подземных транспортных — до 60—100 м и более (метрополитены), подземных горных — до 1000—4000 м (рудники, шахты и др.), нефтяных и газовых скважин — до 5—10 км]; *вид нагрузок* (статические, динамические, ударные — мгновенные) и их величин. Статические нагрузки возможны от 0,1 до 20 кгс/см^2 и более; *эпюра напряжений*, глубина активной зоны сжатия грунтов (чаще 10—20, реже до 35—50 м и более) и другие самых разнообразных воздействий.

Виды воздействий города на природную среду столь разнообразны, что возникла необходимость их систематизации. На рис. 2 приводится разработанная автором схема антропогенных воздействий и изменений геологической среды большого города. Она показывает, насколько сложна и многообразна ноосфера (техносфера) города, демонстрирует направленность, механизм и характер воздействий и изменений среды в пространстве и времени. Ограничимся лишь некоторыми пояснениями схемы.

Целенаправленные воздействия — это сознательные мероприятия по использованию производительных сил и природных

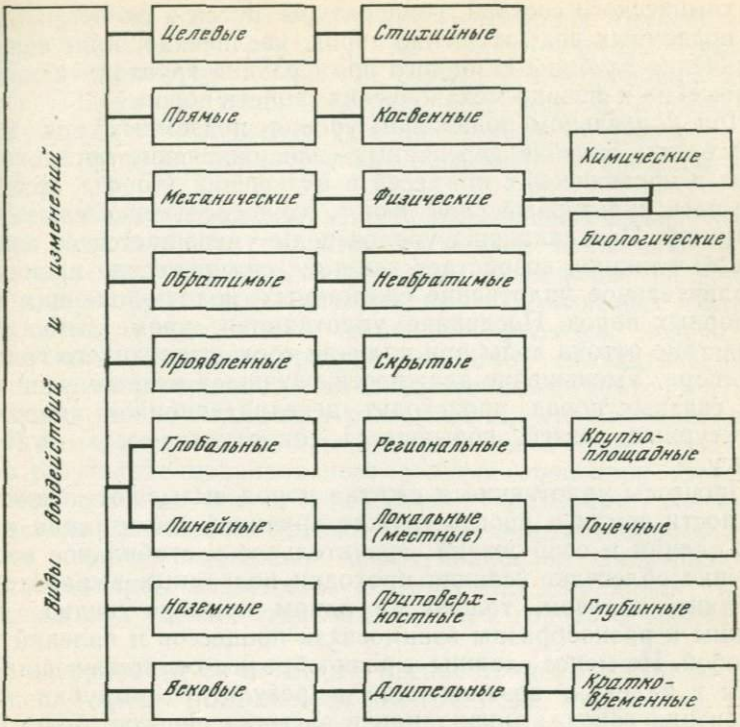


Рис. 2. Схема антропогенных воздействий и изменений геологической среды большого города

ресурсов, по улучшению природных условий города: отвод поверхностных вод, защита от затопления и подтопления, регулирование режима рек, искусственное понижение уровня грунтовых вод, орошение, борьба с абразией, речной эрозией, оврагообразованием, оползнями, селями, обвалами, заболачиванием, карстом, техническая мелиорация грунтов и пр.

К стихийным воздействиям относятся все многообразные, широко распространенные нецелевые и непроизвольные влияния города на природную обстановку территории, носящие характер последствия, последействия и резонанса. Сложную систему взаимосвязей между целевыми и стихийными воздействиями и изменениями природной геологической среды мы проследим на примере длительной эксплуатации подземных вод.

Откачки подземных вод для водоснабжения города могут вызвать следующие сопутствующие им процессы и явления (последствия): образование депрессионных воронок, которые в свою очередь станут новыми очагами дренирования и разгрузки подземных вод; уменьшение гидростатического напора; измене-

ние химического состава, температуры, путей и скорости движения подземных вод; осушение пород; увеличение зоны аэрации; увеличение глубины сезонного промерзания грунтов; изменение химических и физико-механических свойств пород.

При длительном понижении уровня подземных вод может происходить гниение деревянных свай, окисление органогенных пород и органических примесей и включений (торфы, органические илы, культурный слой и пр.), их последующее сжатие под нагрузкой. При снижении уровня воды уменьшается ее взвешивающее влияние, возрастает действие сил тяжести, происходит дополнительное уплотнение сжимаемых водовмещающих и водоупорных пород. Последние уплотняются, кроме того, еще и вследствие оттока воды при наличии соответствующего градиента напора. Уменьшение влажности улучшает механические свойства связных пород, происходит дегидратационное упрочнение структурных связей, повышается сопротивляемость сжатию и сдвигу.

Процессы уплотнения и сжатия пород вызывают осадки поверхности земли и иногда служат причиной деформации городских зданий и сооружений. Значительное и стабильное водопонижение облегчает условия проходки подземных выработок.

Таким образом, только на одном примере видно, сколь сложны и разнообразны взаимосвязи процессов и явлений между собой. Не менее сложны и разнообразны сопутствующие процессы и явления, возникающие в результате вырубки лесов, озеленения города, ликвидации и засыпки оврагов, болот, мелких речек и ручьев, создания каналов, плотин, водохранилищ, прудов; вследствие застройки территории, асфальтирования, снегоуборки, поливки, разработки и перемещения пород при устройстве различных поверхностных и подземных выработок и других самых разнообразных воздействий на природную обстановку, связанных с жизнью города.

К прямым воздействиям относятся устройство подземных и открытых выработок, вертикальная планировка рельефа, статические, динамические нагрузки, обводнение, осушение территории и многое другое; к косвенным — планировка города, изменяющая ветровой, температурный режимы, формирующая микроклиматические различия, застройка, искусственные покрытия, водостоки, снегоуборка, уменьшающие инфильтрацию атмосферных осадков и косвенно изменяющие режим грунтовых вод, и т. п.

Примерами механических воздействий могут служить весовая нагрузка на грунты зданий и сооружений, экскавация грунтов и т. п.; физических — утепляющее воздействие застройки на температурное поле города, просадка, набухание грунтов в результате их увлажнения; химических — химическое загрязнение атмосферы, гидросферы, биосферы, увеличение содержания CO_2 в атмосфере, вызывающее парниковый эффект в темпера-

турном режиме города, химическая мелиорация грунтов, засоление, рассоление грунтов и др.; биологических — дыхание людей, изменяющее химический состав, увеличивающее содержание CO_2, уменьшающее содержание кислорода, повышающее температуру, относительную влажность воздуха. Биосфера, экология активно и разносторонне изменяют природную среду городов.

Различаются обратимые и необратимые воздействия. К обратимым воздействиям относятся временное понижение уровня грунтовых вод, орошение, загрязнение атмосферы, гидросферы и т. п.; к необратимым — изъятие невозобновляемых полезных ископаемых, искусственные изменения рельефа, необратимая химическая мелиорация грунтов, например силикатизация, цементация, вибрационное уплотнение песчаных грунтов и т. п.

Весьма важно выделять и учитывать скрытые изменения среды. К ним можно относить такие процессы, как засоление грунтов в результате неправильного режима орошения, вторжение морских соленых вод в подземную гидросферу континента вследствие длительных откачек пресных вод, механическая суффозия, карстообразование, диффузионное и фильтрационное выщелачивание, подземная деструкция, деградация вечной мерзлоты под утепляющим воздействием города и многие другие.

В зависимости от площади распространения воздействия и изменения среды разделяются на точечные, локальные (местные), линейные, крупноплощадные, региональные и глобальные. Примеры точечных воздействий и изменений — шахты, шурфы, колодцы, погреба, воронки и др.; локальных (местных) — здания и сооружения, свалки, грунтовые отвалы, терриконы, карьеры, сады, скверы, пруды, засыпанные болота и др.; линейных — городские улицы, подземные коммуникации, засыпанные реки, овраги и балки, каналы, дорожные насыпи, выемки, тоннели, штольни, катакомбы и др.; крупноплощадных — водохранилища, поля орошения, очистка сточных вод, подземные нефте-, газохранилища, парки, лесопитомники, пригородные сельскохозяйственные угодья, нефтепромыслы, крупные рудники, промышленные комплексы и т. п.; региональных — крупные городские агломерации. К воздействиям глобального характера можно отнести загрязнения атмосферы, биосферы и гидросферы городами земного шара, выходящие за пределы их границ и охватывающие мировое пространство.

Итак, у города имеется много средств, путей, рычагов и способов воздействий на природную окружающую среду. Им подвержены почти все компоненты природной среды, испытывающие влияние города. К сожалению, некоторые специалисты узко понимают окружающую природную среду города, включая в ее состав лишь атмосферу, климат, растительность, почвы и водоемы, забывая о других, не менее важных, ее компонентах,

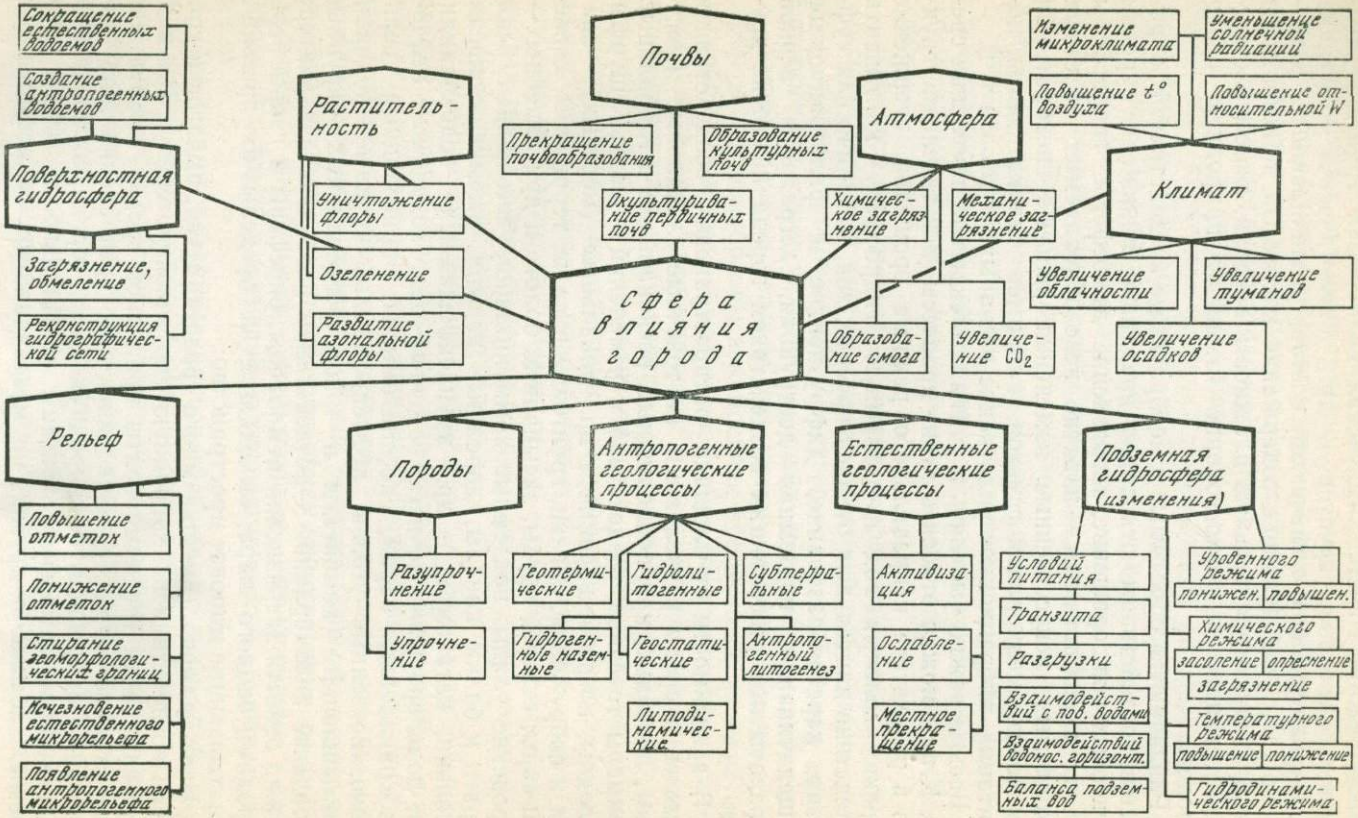


Рис. 3. Антропогенные изменения компонентов природной среды города

влияющих на структуру, планировку, инженерное оборудование и жизнь города.

Наибольшее значение для нового строительства имеют изменения рельефа, гидрографии, подземных вод, грунтов и современных геологических явлений, поскольку главным образом они определяют условия строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Эти изменения особенно значительны в крупных и древних городах.

На рис. 3 представлена разработанная автором принципиальная схема, показывающая сферу влияния города на все основные компоненты окружающей природной среды и направленность антропогенных изменений.

В настоящей работе детально не описываются характер и направленность изменений атмосферы, растительности, почв, поверхностной гидросферы, рельефа, климата, подземной гидросферы, верхних горизонтов грунтов и естественных современных геологических процессов и явлений. Это — тема специального исследования. Частично антропогенные изменения указанных выше элементов природной среды описаны в других работах автора (Котлов, 1947, 1962, 1963д, 1969, 1970в, 1972а, 1974, 1976а).

Настоящая книга посвящена антропогенным геологическим процессам и явлениям на территориях городов и их значению для строительства. В этом аспекте изменения других компонентов природной среды будут показаны лишь частично, поскольку многие антропогенные геологические процессы связаны с изменениями климата, рельефа, гидрографической сети и особенно грунтов, подземной гидросферы и естественных геодинамических процессов.

Город и природная среда едины и взаимосвязаны. Природная среда влияет на город, город изменяет природную среду. Антропогенные геологические процессы и явления формируются под совокупным влиянием естественных и антропогенных факторов и условий.

К естественным факторам и условиям относятся тип климата, гидрографическая сеть, ее состояние и режим, растительный покров (флористические формации), почвенный покров (генетические типы почв), геоморфологические условия (генетические типы, форма, высота, крутизна, изрезанность рельефа), геологическое строение (тектоника, стратиграфия, литология), гидрогеологические условия (типы подземных вод, их режим), геодинамическое состояние территории (эндогенные и экзогенные геологические процессы и явления).

Зонально-климатические и регионально-геологические особенности и закономерности территории обусловливают спектр, распространение и интенсивность антропогенных геологических процессов и явлений, развитых на территории того или иного города. Наиболее активно эти процессы и явления протекают в

ландшафтах определенных типов (гористые, прибрежные, ландшафты вечной мерзлоты и др.), где природные равновесия нарушаются городом в наибольшей степени, со значительными последствиями и изменениями.

Географические, и в особенности климатические, условия определяют зональность и азональность антропогенных геологических процессов. Примером зональных антропогенных геологических процессов служат геокриогенные процессы в зоне многолетней мерзлоты (термопросадки, термокарст и др.). Зональны также процессы и явления, связанные с сезонной мерзлотой (морозное пучение, солифлюкция, термопросадки и пр.). К азональным антропогенным процессам относятся гравитационные оползни, обвалы, абразия берегов водохранилищ, осадка, антропогенная эрозия, многие субтерральные, эндолитогенные процессы и др.

Существует зависимость антропогенных геологических процессов от регионально-геологических условий. Региональные закономерности в распределении геотектонических структур, генетических и петрографических типов грунтов, гидродинамических и геохимических комплексов подземных вод оказывают влияние на формирование видов, направленность и интенсивность развития антропогенных геологических процессов и явлений. Например, антропогенный соляной карст может развиваться только в определенных геологических структурах, где встречаются залежи соли.

Некоторые антропогенные геологические процессы могут развиваться вопреки особенностям природной среды, например антропогенные землетрясения, вызванные подземными атомными взрывами в несейсмической зоне; морозное пучение грунтов в условиях жаркого климата, возникшее в результате искусственного замораживания песчано-глинистых грунтов; развитие оползней, осыпей, обвалов, оплывин и других явлений в условиях плоской равнины при устройстве искусственных выемок и насыпей и др. Подобные явления относятся к интразональным. В формировании антропогенных геологических процессов ведущая роль принадлежит антропогенным факторам и условиям.

В зависимости от характера экономической деятельности человека и воздействий его на природную обстановку избирательно изменяются природные условия местности, формируются и дифференцируются генетические комплексы, классы и виды антропогенных геологических процессов и явлений.

Отметим главнейшие закономерности антропогенных воздействий и изменений природной среды. На территориях городов под влиянием разнообразных воздействий изменяются термическое, гравитационное, электрическое, магнитное, гидродинамическое, геохимическое, радиационное, сейсмическое, акустическое и другие естественные физические поля Земли. Направленность изменений различна и зависит от функционального профиля и

особенностей города и его среды. Антропогенные изменения физических полей, на которые, кстати сказать, раньше не обращали должного внимания и которые стали изучать только в последние годы, оказывают влияние на состояние атмосферы, биосферы, гидросферы, почв, грунтов, на некоторые геологические явления, на поведение и здоровье людей и животных, изменяя и трансформируя природную инженерно-геологическую среду и экологию города.

Изучением антропогенных изменений физических полей стали заниматься не только геофизики, инженеры-геологи, метеорологи, но и медики. Последние стали изучать следствия воздействия антропогенных физических факторов (радиация, температура, вибрация, магнитные, электрические, акустические и другие воздействия) на нервную и сердечно-сосудистую системы, психику, кровь человека и животных. В связи с этим возникла проблема предельно допускаемых уровней воздействий, норм, т. е. нормирования воздействий антропогенных физических полей. В этой многогранной проблеме возникли разные аспекты: геофизический, инженерно-геологический, инженерно-строительный, медицинский, экономический и др.

В свете изложенного теоретической инженерной геологии надлежит заняться разработкой инженерно-геологического аспекта данной проблемы, изучением степени влияния антропогенных физических полей на состояние инженерно-геологической среды, на изменение условий строительства и эксплуатации городских зданий и сооружений с последующей разработкой предельно допустимых уровней и воздействий. В табл. 1 приводится характеристика антропогенных физических полей в условиях большого города.

Нашими исследованиями установлены закономерные влияния профиля, возраста, размера, планировочной структуры, характера застройки города на формирование антропогенных геологических процессов и явлений. Наиболее значительные изменения среды и наиболее активное и широкое развитие антропогенных геологических процессов наблюдаются на территориях центров добычи и переработки полезных ископаемых, крупных промышленных центров, древних городов (фактор времени оказывает значительное влияние на развитие процессов); крупных городов по площади и численности населения; городов с многоэтажной застройкой, с широким использованием подземного пространства, развитием антропогенной гидрографической сети, с многосторонними видами нового строительства, благоустройства и разнообразием городского хозяйства.

Таблица 1

Антропогенные физические поля в условиях большого города

Вид поля	Искусственные факторы, формирующие поле	Направленность изменений естественного поля	Антропогенные геологические процессы и явления, возникающие в системе поля
Гравитационное	Вес города: зданий, сооружений, складов, грунтовых отвалов, отходов производства, материальных элементов благоустройства, вес людей, животных, флоры, искусственных водоемов и осадков в них, гравитационная мелиорация грунтов	Гравитационное уплотнение (в диапазоне 0,1—60, чаще 1—5 кгс/см^2)	Уплотнение и увеличение напряженного состояния грунтов. Оседание поверхности земли, зданий и сооружений. Гравитационный выпор грунтов. Гравитационные оползни и обвалы
	Разработка и удаление грунтов из подземных и открытых выработок при добыче полезных ископаемых и производстве строительных работ. Срезка и удаление грунтов при вертикальной планировке города	Гравитационное разуплотнение (в диапазоне 0,1—50, чаще до 20 кгс/см^2)	Разгрузочное разуплотнение, пучение грунтов. Снижение напряженного состояния
Геотермическое	Отепляющее воздействие наземной застройки, подземных сооружений, выделяющих тепло. Теплоизлучение людей и животных. Подземная газификация углей, перегонка сланцев, выплавление полезных ископаемых. Подземные пожары. Сжигание топлива. Выработка тепловой энергии. Сжигание в факелах подземного газа. Термическая мелиорация грунтов. Тепловое загрязнение поверхностных и подземных вод	Повышение температуры грунтов и вод (от 0,5 до нескольких тысяч °С, чаще 7—8° С)	Термопросадки многолетнемерзлых грунтов. Термокарст. Солифлюкция. Деградация многолетней мерзлоты. Термоусадка глинистых грунтов. Окаменение. Растрескивание грунтов. Подземное выгорание, образование пустот, обрушение, сдвижение грунтов в массиве. Термогенное проседание поверхности земли
	Замораживание грунтов. Влияние холодильников. Повышение альбедо и снижение эффекта солнечной радиации. Снегоуборка. Увеличение глубины промерзания под влиянием уничтожения растительного покрова, водоемов и понижения уровня грунтовых вод	Понижение температуры грунтов и вод (от —0,5 до —25° С)	Морозное пучение. Образование подземного льда, грунтовых наледей. Морозное выветривание грунтов
Гидродинамическое	Длительные эксплуатационные откачки для питьевого, технического и хозяйственного водоснабжения. Эксплуатация минеральных, термальных и технических вод. Откачка и водоотлив при произ-	Понижение уровня подземных вод, осушение грунтов (до глубины нескольких тысяч, чаще до 60 м)	Образование местных и региональных депрессий, перемещение областей питания, транзита и разгрузки подземных вод, нарушение гидродинамиче-

Гидродинамическое	водстве горных и строительных работ, при добыче нефти. Мелиоративное осушение грунтов (открытые и закрытые дренажные системы). Уменьшение инфильтрации атмосферных осадков, вызванное застройкой территории, применением водонепроницаемых покрытий, снегоуборкой, устройством водостоков, вырубкой лесов и пр. Транспирационное водопонижение и осушение грунтов		ского режима, падение напоров. Увеличение зоны аэрации и глубины промерзания грунтов. Гидростатическое, гидродинамическое и дегидратационное обжатие грунтов и оседание земной поверхности. Деструкционное проседание. Развитие карстово-суффозионных процессов
	Инфильтрация воды из искусственных водоемов. Утечка из водонесущих сетей и резервуаров. Орошение земель, поливы. Спуск в грунты сточных вод. Подземное магазинирование поверхностных вод. Поступление воды с полей фильтрации. Снегозадержание, устройство снежных свалок. Уничтожение естественных дрен. Подпор грунтовых вод подземными сооружениями. Конденсация влаги под зданиями, сооружениями, насыпями, покрытиями. Уплотнение грунтов, понижение фильтрационных свойств	Повышение уровня подземных вод, обводнение и увлажнение грунтов (до 100, чаще 2—30 м)	Образование новых водоносных горизонтов и верховодки. Подтопление территории, затопление подвалов, подземных коммуникаций и выработок, заболачивание. Возникновение напорной фильтрации и развитие карста и суффозии. Прорыв подземных вод и плывунов в выработки. Гидростатический и фильтрационный выпор грунтов. Уменьшение зоны аэрации и глубины промерзания грунтов. Размокание, просадки, разупрочнение грунтов и осадки зданий и сооружений. Набухание и подъем поверхности, легких зданий и сооружений. Гидродинамические и суффозионные оползни
Геохимическое	Создание новых искусственных химических элементов, изотопов, соединений, веществ, минералов, пород, почв, месторождений полезных ископаемых	Привнос и концентрация химических элементов и соединений	Изменение химического баланса почв, грунтов, поверхностных и подземных вод. Формирование геохимических аномалий. Химическое загрязнение окружающей городской среды. Формирование геохимических особенностей антропогенных ландшафтов городского типа. Увеличение минерализации, пестроты химического состава и агрессивности поверхностных и подземных вод. Засоление, цементация, упрочнение грунтов
	Накопление и концентрация отходов производства и быта. Подземное захоронение отходов промышленности. Сброс промышленных и хозяйственно-бытовых стоков. Радиоактивное загрязнение среды (влияние радиоактивных отходов; ядерных взрывов, утечек радиоактивных элементов и пр.).		

Таблица 1 (окончание)

Вид поля	Искусственные факторы, формирующие поле	Направленность изменений естественного поля	Антропогенные геологические процессы и явления, возникающие в системе поля
Геохимическое	Инфильтрационный привнос в грунты солей из культурного слоя и удобряемых почв. Химическая мелиорация грунтов. Неправильный режим орошения, сопровождающийся увеличением минерализации вод и засолением грунтов Добыча твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых, извлечение из земной коры и перераспределение химических элементов и соединений. Подземное растворение пород водой, щелочами и кислотами. Откачки минеральных вод, рассолов. Вынос солей при длительных строительных откачках. Диффузионное выщелачивание при искусственно созданных градиентах концентрации. Мелиоративное рассоление почв и грунтов	Вынос и рассеяние химических элементов и соединений	Формирование геохимических аномалий, выноса и рассеяния химических элементов. Химическая суффозия. Антропогенный карст. Рассоление грунтов. Антропогенный гипергенез
Электрическое	Увеличение электрических нагрузок на окружающую среду. *Выработка электроэнергии на* ГЭС, ТЭС, АЭС, электрическими механизмами производственных предприятий. Заземление атмосферного электричества. Насыщение окружающей среды через ЛЭП, подземную электрокабельную сеть, подземные электростанции, подстанции, электрифицированные наземные и подземные железные дороги. Влияние осветительной сети, электрозаземления предприятий, жилых и общественных зданий и т. п. Антропогенное изменение ЭДС (электродвижущих сил), электропроводности, электросопротивляемости и др. электрических свойств грунтов и застройки. Возникновение блуждающих электрических токов и полей под влиянием активных электропроводников (металлических подземных сетей, конструкций, рельсов и пр.)	Увеличение напряженности *электрического поля.* Изменение электрических свойств грунтов и вод	Формирование аномалий и пестроты *естественного электрического поля.* Электроосмос, передвижение влаги и воды в грунтах. Электрокоррозия металлических конструкций в связи с формированием коррозионных свойств грунтов. Электрофорез — перемещение частиц дисперсной фазы под действием внешнего электрического поля

Магнитное	Повышенная интенсивность магнитных аномалий наиболее характерна для городов металлургии, машиностроения и других видов производства магнитных изделий. Магнитные аномалии образуют скопления металлических отходов производства, свалки металлического лома, скопления машин, подземных и наземных металлических конструкций и т. п. Ожелезнение культурного слоя, покровных грунтов на полях сражений (скопление бомб, снарядов, ракет, мин, их осколков, разбитых орудий, самолетов и т. п.)	Увеличение интенсивности магнитного поля (от единиц до сотен тысяч гамм)	Формирование аномалий повышенного магнетизма. Намагничивание металлических изделий под влиянием земного магнетизма. Влияние на геологические процессы седиментации осадков (ориентировка частиц)
	Выборка железных руд, обладающих магнитными свойствами, из недр земли в городах железорудных бассейнов	Уменьшение интенсивности магнитного поля	Образование аномалий пониженного магнетизма
Сейсмическое	Ухудшение сейсмо-геологических условий под влиянием повышения уровня грунтовых вод до глубины 0—10 м от поверхности земли, подтопления территории, водонасыщения песчано-глинистых и других дисперсных грунтов; заболачивания мощного накопления рыхлых антропогенных отложений; создания антропогенной гидрографической сети; деградации многолетней мерзлоты; наличия антропогенных оврагов, оползней, осыпей, селей, карста; нарушения рельефа поверхности выработками, насыпями; образования мульды сдвижения и оседания грунтов на подрабатываемых территориях	Ухудшение сейсмических свойств грунтов. Повышение сейсмичности городской среды на 1—2 балла	Повышение интенсивности землетрясений
	Улучшение сейсмо-геологических условий под влиянием искусственного водопонижения, осушения грунтов на глубине более 10 м от поверхности земли; технической мелиорации грунтов в направлении упрочнения грунтового массива; нивелирования и рекультивации рельефа; агградации многолетней мерзлоты; искусственной стабилизации оползневых, обвальных, осыпных, селевых, овражных склонов	Улучшение сейсмических свойств грунтов. Понижение сейсмичности городской среды на 1—2 балла	Понижение интенсивности землетрясений

КЛАССИФИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

К настоящему времени разработано немало различных общих и частных классификаций природных геологических процессов и явлений и совершенно недостаточно разработана классификация антропогенных (инженерно-геологических) процессов и явлений [общие классификации В. А. Приклонского (1951), Н. Я. Денисова (1960), Л. Д. Белого (1957), частная классификация горно-геологических явлений при подземных и открытых разработках полезных ископаемых П. Н. Панюкова (1962)].

В 1959 г. автором опубликована первая общая классификация в трудах II Узбекистанского гидрогеологического совещания «Антропогенные изменения пород и инженерно-геологические явления»; в ней процессы и явления рассмотрены в непосредственной связи с изменениями пород под влиянием различных искусственных воздействий (Котлов, 1959). Затем был опубликован другой вариант общей классификации антропогенных геологических процессов под названием «Виды и разновидности геологических процессов и явлений, вызванных деятельностью человека» (Котлов, 1963б). Эта классификация систематизирует все виды и разновидности антропогенных процессов и явлений с привязкой к породам и основным факторам, их вызывающим. В 1966 г. разработана и в 1967 г. опубликована более полная и более четкая классификация процессов и явлений, в которой выделено 5 классов, 16 типов и 72 вида процессов и явлений (Котлов, 1967). Позднее эту классификацию автор несколько дополнил и усовершенствовал, и в этом виде она печатается в данной работе (табл. 2). По мере расширения и углубления классификационных исследований модернизировались и сами классификации.

Антропогенные геологические процессы и явления можно классифицировать и типизировать по разным признакам, общим и частным, основным и вспомогательным. Различные принципы, подходы и аспекты могут быть положены в основу классификации: по признаку главных действующих сил и факторов, вызывающих процессы и явления, по признаку региональных и зональных обстановок и условий, в которых развиваются и существуют процессы и явления, по видам строительства и инженерной деятельности человека, по месту их действия и проявления, по скорости их развития и т. д.

Теоретическое и практическое значение и успех будут иметь такие общие классификации, которые построены на генетических принципах, вскрывают причинность антропогенных геологических процессов и явлений и учитывают формирующие их факторы. Без соблюдения этих принципов классификация не может

служить научной основой управления процессами и явлениями и борьбы с их отрицательными воздействиями на территории и сооружения.

Антропогенные геологические явления и процессы могут развиваться: а) внутри массивов горных пород (суффозия, карст, электроосмос, кольматация, искусственные сейсмические явления и др.); в подземных выработках (серия субтерральных явлений: стреляние, выпучивание, пластическое выдавливание глинистых пород, отжим блоков твердых пород, выпуски плывунов, сыпунов, прорывы газов, подземных вод и пр.); б) на поверхности земли или близко к ней (заболачивание, плоскостная ветровая и водная эрозии, образование наледей, морозное пучение и пр.); на склонах и в открытых выемках (осыпи, обвалы, оползни, оплывины, сели, солифлюкция, плывуны, выпирание дна котлованов и др.).

Почти все геологические явления и процессы независимо от места их действия в какой-то мере проявляют себя и на поверхности земли, образуя опускания, осадочные, просадочные и провальные воронки, трещины, выпор и прочее, и вместе с тем в их распределении существует определенная дифференциация.

В общей классификации антропогенных геологических процессов и явлений выделено три таксономических подразделения группа, класс и вид. Разделение антропогенных геологических процессов и явлений на группы, классы и виды осуществлено на основе следующих принципов.

Группы объединяют совокупности генетических комплексов антропогенных геологических процессов и явлений, связанные с главными направлениями антропогенных изменений литосферы, подземной и поверхностной гидросферы.

Классы объединяют процессы и явления, выделенные в генетические комплексы по характеру изменений грунтов, подземных и поверхностных вод.

Виды — элементарная классификационная единица, это сами процессы и явления.

В классификации указаны искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию. Таким образом, классификация по своей сущности является генетической, что весьма важно для прогнозирования, методики изучения, предупреждения нежелательных процессов и явлений и борьбы с ними.

Так как некоторые виды процессов и явлений многофакторны, полигенны, то они повторяются в нескольких группах и классах, что неизбежно, поскольку классификация генетическая. Она дифференцирует процессы и явления по более дробным генетическим признакам. Так, например, в классификации выделены такие генетические виды оседания, как термогенное, гидростатическое, дегидратационно-гидравлическое, дегидратационно-транспирационное, гидратационное, гравитационное, вибрационное,

Таблица 2

Классификация антропогенных геологических процессов и явлений

Группа	Класс	Вид	*Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию*
I Антропогенный *литогенез*	1. Наземный (субаэральный) литогенез	1) Стихийное накопление антропогенных *отложений на поверхности* земли	Существование города и связанное с ним *накопление строительных, промышленных,* горных и хозяйственно-бытовых отходов
		2) Регулируемое *накопление* насыпных антропогенных отложений на поверхности земли	*Устройство земляных сооружений* (строительных, дорожных насыпей, дамб, плотин, валов и др.), грунтовые отвалы из выработок; складирование производственных отходов
		3) Искусственный намыв грунтов	Намыв искусственных террас, стройплощадок, пляжей, земляных сооружений, хвостохранилищ, вскрышных грунтов из карьеров
	2. *Подводный* (субаквальный) литогенез	4) *Осадкообразование* в искусственных водоемах	Устройство водохранилищ, каналов, озер, прудов
		5) *Образование* искусственных грунтов в естественных водоемах	Строительство подводных каналов, дамб и других сооружений, устройство грунтовых свалок
		6) Антропогенное преобразование естественных осадков рек, озер, морей и океанов	Привнос и аккумуляция естественными водоемами компонентов загрязнения атмосферы, биосферы, почв, грунтов и подземной гидросферы
	3. Подземный (субтерральный) литогенез	7) Образование необратимо мелиорированных грунтов в естественном залегании	Применение силикатизации, цементации, битумизации, смолизации, ожелезнения, обжига и других способов мелиорации
		8) Преобразование структуры, состояния и свойств грунтовых массивов в связи с добычей полезных ископаемых и подземными пожарами	Применение горного способа добычи, подземной газификации углей (ПГУ), перегонки сланцев, выплавления (серы и др.), выщелачивания водой, щелочами и кислотами. Подземное горение углей, сланца, торфа и других горючих ископаемых

		9) Привнос в грунтовые массивы инородных тел, конструкций и сооружений	Закладка и тампонаж подземных выработок (штолен, штреков, катакомб и пр.), засыпка шахт. Накопление остатков фундаментов, свай, колодцев, погребов, дренажей и различных сооружений
		10) Засыпка и погребение песками древних городов, поселков, различных сооружений в зоне пустынь и полупустынь	Активизация эоловых процессов под влиянием деятельности человека.
II. Геотермические процессы и явления	4. Вызванные замерзанием грунтов и подземных вод	11) Морозное пучение	Искусственное замораживание (11,14) *
		12) Образование подземного льда (гидролакколиты, ледяные бугры, пластовые льды)	Утечки вод из сетей и превращение их в лед в зоне промерзания грунтов (11, 12, 13)
		13) Образование наледей	Искусственное повышение уровня грунтовых вод с выходом их на поверхность и последующим замерзанием (13)
		14) Морозное выветривание	Выход и замерзание грунтовых вод в искусственных откосах (13)
		15) Увеличение мощности существующей и образование новой многолетней мерзлоты	Увеличение глубины промерзания под влиянием уничтожения снегового, растительного покрова, водоемов и понижения уровня грунтовых вод (11—14) Нарушение теплообмена повышением альбедо (15) Консервация снежного покрова Устройство холодильников и подземных льдохранилищ Аккумуляция холода в подземных выработках Затенения в городской застройке
	5. Вызванные протаиванием мерзлых грунтов и льдов	16) Термопросадки	Термическая мелиорация мерзлых грунтов (оттаивание и др.) (19)

Таблица 2 (продолжение)

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
II. Геотермические процессы и явления	5. Вызванные протаивание мерзлых грунтов и льдов	17) «Термокарст»	Утепляющее воздействие застройки городов и поселков, подземных горных выработок и сооружений (16, 17, 19)
		18) Солифлюкция	Спуск в грунт горячих и теплых сточных вод (16, 17, 19)
		19) Деградация многолетней мерзлоты	
	6. Вызванные обогревом, обжигом и плавлением грунтов	20) Термоусадка глинистых грунтов	Прогрев и обжиг грунтов в целях мелиорации (20, 21)
		21) Окаменение грунтов	Повышение температуры грунтов нагретыми объектами (горячие цеха, печи, котлы, теплопроводы и пр.) (20)
		22) Образование пустот в массиве грунтов	
		23) Сдвижение грунтов в массиве	Подземная газификация и перегонка углей и сланцев (20—24)
		24) Термогенное проседание поверхности земли	Подземное выплавление полезных ископаемых (серы и др.) (21—24) Подземные пожары антропогенного типа и др. (20—24)
III. Процессы и явления, вызванные изменением режима подземных вод, обводненности и влажности грунтов	7. Вызванные понижением уровня подземных вод и осушением грунтов	25) Образование депрессий подземных вод	Осушение грунтов средствами технической мелиорации (25, 27, 30, 31)
		26) Гидростатическое обжатие грунтов и оседание поверхности	Откачки подземных вод при строительстве и производстве горных работ (25, 26, 27, 29, 30, 31)
		27) Дегидратационно-гидравлическое сжатие грунтов и оседание поверхности	Эксплуатационные откачки подземных вод различных типов
		28) Дегидратационно-транспирационное оседание поверхности	Уменьшение инфильтрации атмосферных осадков, вызванное застройкой территории, применением водонепроницаемых покрытий, снегоуборкой, устройством водостоков, вырубкой лесов и пр. (25, 30, 31)
		29) Деструкционное проседание поверхности	

		30) Увеличение зоны аэрации и глубины сезонного промерзания	Транспирационное водопонижение и осушение грунтов (28)
		31) Уменьшение водности рек, исчезновение родников, малых рек, озер, болот, гибель растительности	Разложение (деструкция) органики в связи с длительным водопонижением
	8. Вызванные повышением уровня подземных вод, обводнением и увлажнением грунтов	32) Появление новых водоносных горизонтов, верховодки	Инфильтрация воды из искусственных водоемов (32—39)
		33) Подтопление территории, затопление подвалов и выработок	Уничтожение естественных дрен (32—39)
		34) Заболачивание (за счет грунтовых вод)	Спуск сточных вод (32—39)
		35) Гидратационное набухание грунтов, поднятие поверхности земли	Утечки воды из подземных сетей и резервуаров (32—39)
		36) Просадки лёссовых грунтов	Искусственное орошение земель, поливы (32—39)
		37) Размокание, уменьшение прочности связных грунтов, гидратационное оседание	Снежные свалки (32, 38, 39)
		38) Уменьшение зоны аэрации и выветривания	Поступление воды с полей фильтрации (32—39)
		39) Уменьшение глубины сезонного промерзания	Подпор грунтовых вод подземными сооружениями (32—39)
		40) Развитие склоновых процессов (оползней, оплывин и др.).	Конденсация влаги под зданиями и сооружениями (32, 33, 35, 36)
III. Процессы и явления, вызванные изменением режима подземных вод, обводненности и влажности грунтов	9. Вызванные изменением фильтрационно-гидродинамического режима	41) Антропогенная механическая суффозия	Напорная фильтрация из искусственных водоемов (41, 42, 46)
		42) Прорыв подземных вод и плывунов в выработки	Откачки подземных вод (41, 42)
			Открытый водоотлив из выработок (41, 43)

Таблица 2 (продолжение)

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
	9. Вызванные изменением фильтрационно-гидродинамического режима	43) Вертикальный водообмен через водоупоры между водоносными горизонтами	Напорные градиенты водоносных горизонтов (43)
		44) Суффозионно-механическое проседание поверхности и провалы	Образование градиентов напоров и фильтрации при устройстве подземных и поверхностных выработок и возникновение депрессий (41, 42, 44, 45, 46, 47, 48)
		45) Гидростатический выпор грунтов	
		46) Фильтрационный выпор (грифоны)	
		47) Кольматация и декольматация трещин и пустот	
		48) Суффозионные и гидродинамические оползни	
	10. Вызванные изменением химического режима	49) Химическая суффозия (выщелачивание, коррозия)	Искусственное подземное выщелачивание и растворение грунтов (при добыче солей, создании полостей и пр.) (49, 50, 52)
		50) Антропогенный карст	Напорная фильтрация агрессивных вод в зоне влияния водонапорных гидротехнических сооружений (49, 50)
		51) Засоление (цементирование)	Антропогенная коррозия (инфильтрация кислот, щелочей и других растворителей) (49)
		52) Осмотическое сжатие и разуплотнение	Диффузионное выщелачивание и засоление (52)
		53) Формирование гидрохимических аномалий	Ирригационное засоление грунтов (51) Засоление в связи с повышением минерализации вод (51, 52)

			Инфильтрационный привнос солей из культурного слоя, удобряемых почв (51, 52, 53) Инфильтрация сточных минерализованных вод (51, 52, 53)
IV. Процессы и явления, вызванные изменением напряженного состояния массива грунтов	11. Геостатические (вызванные статическими нагрузками)	54) Гравитационное сжатие грунтов и оседание поверхности	Давление веса зданий, сооружений и пр. (54—56)
		55) Гравитационный выпор грунтов	Мелиоративное уплотнение сильносжимаемых грунтов способом пригрузки (54)
		56) Гравитационные оползни и обвалы	Нагрузки, превышающие сопротивление грунтов сжатию и сдвигу в основании зданий и сооружений (55) Искусственное нагружение склонов и откосов (56)
		57) Вибрационное уплотнение грунтов и оседание поверхности	Уплотнение рыхлых грунтов поверхностными и глубинными вибраторами (57)
	12. Литодинамические (вызванные динамическими нагрузками)	58) Тиксотропное разжижение грунтов и оседание поверхности	Уплотнение массива грунтов взрывным способом (59)
		59) Ударное и взрывное сжатие и разрыхление грунтов	Вибрационные и ударные воздействия транспорта, машин и механизмов (57, 58, 60)
		60) Вибрационно-динамическое смещение грунтов на склонах и откосах (оползни, обвалы, осыпи и др.)	Ведение горных и других работ взрывным способом (58, 59, 60) Воздействия бомб, снарядов, мин, ракет, фугасов и пр. (58, 59, 60)
	13. Вызванные вскрытием массива грунтов подземными выработками	61) Горное стреляние	Подземная добыча полезных ископаемых Строительство метрополитена
		62) Отжим и вывалы твердых грунтов	Строительство и эксплуатация транспортных и гидротехнических тоннелей
		63) Обрушение грунтов	Строительство подземных автодорог, пересечений, гаражей
		64) Разгрузочно-упругое выпучивание грунтов	Устройство подземных городов, монастырей, храмов, кладбищ
		65) Гравитационное пластическое течение глинистых грунтов	

Таблица 2 (окончание)

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
IV. Процессы и явления, вызванные изменением напряженного состояния массива грунтов	13. Вызванные вскрытием массива грунтов подземными выработками	66) Внезапные выбросы угля и газа	Устройство подземных хранилищ, укрытий, предприятий, фортификационных сооружений и пр. (61—68)
		67) Сдвижение грунтов в массиве в зоне подработки	
		68) Образование мульд проседания, трещин и провальных воронок на поверхности земли	
	14. Вызванные вскрытием массива грунтов открытыми выработками	69) Пучение дна и бортов выемок (разгрузочно-упругое, пластическое выдавливание)	Устройство строительных котлованов, траншей, карьеров, дорожных выемок, каналов, фортификационных выемок и др. (69—72)
		70) Сдвиговые явления в откосах выемок: оползни, обвалы, осыпи и др.	
		71) Эрозионный размыв откосов	
		72) Затопление выемок и образование озер	
	15. Вызванные извлечением из недр земли нефти и газа	73) Нефтегазовая механическая суффозия	Добыча нефти и газа через буровые скважины (73—80)
		74) Нефтегазоносные суффозионные просадки и провалы буровых вышек	Прорыв и выброс нефти и сжатых газов при их добыче (73, 75, 76)
		75) Антропогенные «гейзеры»	
		76) Газонефтяные купола выпирания	
		77) Падение внутрипластовых напоров, изменение напряженного состояния массива	
		78) Замещение нефти водой, смешение вод, образование новых водо-	

		носных горизонтов, изменение режима	
		79) Дегазация пород	
		80) Оседание дневной поверхности, связанное с эксплуатацией нефти и газа	
V. Процессы и явления, вызванные изменением поверхностной гидросферы	16. Вызванные созданием антропогенной гидрографической сети (водохранилищ, каналов, озер, прудов, болот)	81) Затопление, подтопление и заболачивание местности	Подпор рек и ручьев плотинами, создание каналов, прудов и озер (81—86)
		82) Переработка берегов	Ветровые и судовые волны и течения (82, 83)
		83) Береговые оползни и обвалы	
		84) Антропогенное субаквальное осадкообразование	
		85) Просадка лёссовых грунтов	Механическая, химическая и биогенная седиментация (84)
		86) Антропогенный карст	Создание полей орошения (81, 84)
			Замачивание и размыв лёссовых грунтов поверхностными водами (85)
	17. Вызванные нарушением естественного стока атмосферных вод	87) Антропогенная эрозия (овраги, рытвины, промоины и пр.)	Дефекты вертикальной планировки местности и регулирования стока поверхностных вод (87—90)
		88) Заболачивание (за счет поверхностных вод)	Сброс вод и снега в овраги, балки, на склоны и откосы (87, 89, 90)
		89) Антропогенные сели	Размыв склонов в искусственных выемках и насыпях (87, 90)
		90) Антропогенные оползни и оплывины	Внезапный прорыв грунтов и вод из грунтохранилищ вследствие обводнения (89)

* Цифры в скобках показывают номера видов в графе 3.

тиксотропное, ударно-взрывное и пр. Такая генетическая дифференциация осадок рациональна, она полезна для практики, так как раскрывает природу осадок и правильно нацеливает специалистов, занимающихся прогнозами, расчетами и проектированием оснований.

Аналогично классифицируются и многие другие явления: пучение [морозное, гидратационное (набухание), гравитационное, фильтрационное, гидростатическое], антропогенные оползни (гравитационные, суффозионные, гидродинамические, вибрационно-динамические) и др.

Генетическая дифференциация явлений важна для научного проникновения в их природу, нужна для прогнозов, расчетов и проектирования мер борьбы с их вредным воздействием на территории, на здания и сооружения; для разработки способов управления процессами и явлениями.

Генетическое понимание явлений так же важно, как, скажем, и генетическое понимание грунтов. Учение об антропогенных геологических процессах развивается и углубляется, и вполне оправданно более усложненное и глубокое понимание и трактование физической и генетической природы процессов и явлений.

Автором выделено 5 групп, 17 классов и 90 видов антропогенных геологических процессов и явлений. Уже эти цифры свидетельствуют о большом их разнообразии и необходимости систематизации. В последние годы появились региональные классификации инженерно-геологических процессов и явлений, разработанные для ряда городов и промышленных районов СССР: Москвы (Котлов, 1962), Одессы (Котлов, 1968), Ташкента (Худайбергенов, 1963), Улан-Удэ (Осодоев, 1970), Баку (Котлов, 1972) и др.

Классификации антропогенных геологических процессов и явлений наглядно демонстрируют, насколько многообразна и сложна современная ноосфера города, насколько важно изучать их в теоретическом, региональном и методическом аспектах.

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Города активно изменяют тепловое поле верхнего слоя Земли, причем одновременно действуют факторы, повышающие и понижающие температуру грунтов и подземных вод. Геотермические изменения распространены в зонах многолетней, сезонной мерзлоты и в зоне положительных температур.

Антропогенные геотермические процессы и явления с наибольшим разнообразием, интенсивностью и экономическим ущербом

проявляются в зоне многолетней мерзлоты, площадь которой на Земле составляет 24% от площади суши, в СССР —49,7% (11 115 000 км²). Мощность многолетнемерзлых пород изменяется от 0 до 700 м, температура — от —0,1 до —16° С. Зона многолетней мерзлоты на территории СССР охватывает Европейский Север, часть Западной, Восточной Сибири, Забайкалья, Якутию и Северо-Восток СССР. В зоне многолетней мерзлоты расположены десятки городов, причем их число в ближайшие десятилетия будет расти в связи с освоением новых минеральных, энергетических и других природных ресурсов.

Среди городов зоны многолетней мерзлоты преобладают мелкие (с населением менее 50 тыс. человек) и лишь незначительная их часть относится к большим (более 100 тыс. жителей) и средним (50—100 тыс. человек) городам (Иркутск, Мурманск, Улан-Удэ, Чита, Норильск, Якутск, Магадан, Воркута и др.).

Область сезонного промерзания грунтов охватывает еще бо́льшую часть территории страны. В зоне сезонного промерзания грунтов расположено более 1500 городов и городских поселков.

Антропогенные термические воздействия, изменяющие природный тепловой баланс, процессы теплообмена на границах литосфера — атмосфера, литосфера — гидросфера — атмосфера, литосфера — сооружение — атмосфера в городах весьма многообразны. В преобладающей массе они направлены на повышение естественной температуры пород и подземных вод и реже сопровождаются понижением температуры. Например, в Воркуте на 70—85% территории наблюдается повышение температуры, на 15% — понижение. В центре Игарки отмечено понижение, а в одном из районов на окраине — повышение температуры.

Антропогенные факторы и условия, влияющие на температуру приземного слоя, грунтов и подземных вод (при прочих равных условиях), приводим ниже.

Факторы и условия, вызывающие и способствующие повышению температуры	Факторы и условия, вызывающие и способствующие понижению температуры
Прямые	Прямые
Утепляющее воздействие застройки	Искусственное замораживание грунтов
Передача тепла подземными сооружениями (метро, шахты, штольни, теплонесущие подземные коммуникации и др.)	Консервация снежного покрова
Влияние нагретых объектов (горячие цеха, печи, котельные и др.)	Аккумуляция холода в подземных выработках
	Устройство холодильников и подземных хранилищ льда
	Косвенные
	Снегоуборка
Горящие терриконы	Уплотнение снежного покрова
Пожары (городские наземные, лесные, подземные, газонефтяные)	Уничтожение водоемов
	Искусственное водопонижение, осушение грунтов
Подземная газификация углей и сланцев	Засоление грунтов и вод

Факторы и условия, вызывающие и способствующие повышению температуры	Факторы и условия, вызывающие и способствующие понижению температуры
Прямые	**Косвенные**
Подземное выплавление полезных ископаемых	Затенения в городской застройке
Законтурное и внутриконтурное обводнение нефтегазовых месторождений	Уничтожение почвенного и растительного покрова
Сброс и утечки теплых и горячих сточных вод	Ветровое переохлаждение в вентилируемых подпольях
Термическая мелиорация грунтов (обогрев, обжиг)	И другие
Конвективная передача тепла поверхностными и подземными водами	
Обогрев грунта эксплуатационными, нефтегазовыми, термальными скважинами	
Выделение тепла людьми и животными	
Косвенные	
Создание искусственных водоемов, орошение, заболачивание	
Аккумуляция и отдача тепла стройматериалами (застройкой)	
Повышенный радиационный обогрев грунтов за счет пониженного альбедо городских поверхностей	
Подтопление, увлажнение грунтов	
Увеличение в атмосфере CO_2	
Снегонакопление, загрязнение снежного покрова	
Озеленение города (в зоне сезонной мерзлоты)	
Уничтожение растительно-мохо-торфяного покрова в таежных условиях	
И другие	

Действие прямых и косвенных факторов показано в работах П. Ф. Швецова (1955, 1973), И. И. Шамановой (1966), Л. Н. Хрусталева (1971), Г. В. Порхаева, В. К. Щелокова (1961), П. А. Соловьева (1958), Ю. Т. Уваркина (1972) и других авторов.

При действии прямых факторов происходит непосредственная кондуктивная или индуктивная передача тепла или холода грунтам. Косвенные факторы только способствуют повышению или понижению температуры благодаря присущим им свойствам термопоглощения или термоотражения; они регулируют распределение температурной нагрузки на грунты, изменяя условия природной среды. При соответствующих сочетаниях и ситуациях некоторые факторы меняют знак (направленность) и способ воздействия.

Для городов, особенно крупных, характерны выделение в больших количествах антропогенного тепла (сжигание топлива, теплоотдача людьми, животными и др.) и увеличение приходных статей в тепловом балансе. На городских территориях синтези-

руются природное и антропогенное термические поля, формируется сложное природно-антропогенное (смешанное) поле.

Ареалы площадного и объемного воздействия факторов настолько разнообразны, что целесообразно их разделять на *региональные, крупноплощадные, местные и локальные*. Примером региональных факторов могут служить крупные водохранилища, протяжение которых, как известно, достигает сотен километров, а ширина — десятков километров, каналы и др.; примером крупноплощадных — служат антропогенные изменения местного климата, охватывающие площадь всего города, крупные пожары, законтурное и внутриконтурное обводнение нефтегазовых месторождений и др.; примером местных — влияние подземных коммуникаций, ПГУ, снегоуборки и др.; примером локальных — термическая мелиорация грунтов, влияние отдельных зданий и сооружений, терриконов и т. п.

Каждый источник или объект в городе имеет свое локальное термическое поле, многие из них по мере роста соединяются, совокупность индивидуальных и групповых полей образует общегородское природно-антропогенное геотермическое поле. С увеличением плотности застройки города температурные воздействия и взаимовлияние усиливаются. Тепловое влияние одиночного объекта выходит за пределы его периметра, так же как и радиусы осадочных воронок.

Эволюция индивидуальных полей, преобразование их в общие поля убедительно показаны в работах Л. Н. Хрусталева (1971), Г. В. Порхаева, В. К. Щелокова (1961). Кратко рассмотрим проявления антропогенных геотермических процессов на территориях городов (см. табл. 2).

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ЗАМЕРЗАНИЕМ ГРУНТОВ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

К этому классу процессов и явлений относятся морозное выветривание, морозное пучение, подземные льдообразования, наледи, полигональные образования, «перелетки», нарастание и образование (аггрaдация) многолетней мерзлоты.

Прямые и косвенные антропогенные факторы и условия, вызывающие и способствующие понижению температуры, замерзанию грунтов и развитию мерзлотных геологических процессов, указаны выше.

Из перечисленных выше процессов наиболее распространены морозное выветривание и морозное пучение, которые наблюдаются как в зоне многолетней, так и в зоне сезонной мерзлоты. Из видов выветривания наиболее развито физико-механическое, значительно меньше — химическое и биологическое.

Многократные циклы замерзания и протаивания, процессы литогенного льдообразования, формирования и распада криогенных текстур, морозобойное трещинообразование расшатывают

структуру, диспергируют грунты, понижают их прочностные свойства. Антропогенный термогипергенез усиливается при вскрытии массива грунтов открытыми выработками, при ликвидации снежного, растительного покровов, при искусственном водопонижении.

Морозное пучение — один из распространенных видов объемных деформаций глинистых, пылеватых и мелкопесчаных грунтов, обусловленных объемным расширением грунта в связи с переходом воды в лед (увеличение объема на 9%). Процесс пучения усиливается при подтоке влаги извне к фронту промерзания. Морозные объемные деформации возрастают с увеличением дисперсности, пористости, влажности, влагоемкости, гидрофильности грунтов. Влага извне может мигрировать в виде пара и в жидкой фазе от мест с большей упругостью к местам с меньшей упругостью, от мест высоких температур к местам более низких. В геокриозоне образуются бугры пучения высотой до 2—3 м, диаметром 5—20 м в связи с изменением человеком естественного режима поверхностных и подземных вод. В Воркуте наблюдается выпучивание и деформации легких зданий, поднятие поверхности на участках водонасыщенных грунтов на 150—200 см, на осушенных — на 50—100 см. Пучение сопровождается образованием торфяных бугров, бугристого микрорельефа, пятен, медальонов и пр. (Киселева, 1974). В Игарке пучение пылеватых суглинков и супесей при глубине промораживания 4,5—5,5 м составляет 50—76 см.

Морозное пучение — в значительной мере антропогенный процесс, так как в его формировании большая роль принадлежит антропогенным факторам (изменение термического, влажностного режима грунтов и пр.).

Процессы пучения вызывают неравномерное поднятие легких зданий и сооружений, вследствие чего в несущих конструкциях возникают деформации растяжения, разрыва, сжатия и др. Чем меньше вес здания и сооружения, тем интенсивнее развиваются деформации пучения (в отличие от просадок). Если сезонное (зимнее) пучение не полностью компенсируется просадкой, формируется остаточное пучение, которое суммируется и в многолетнем разрезе достигает значительной величины (более 2,5 м).

В результате остаточного пучения из грунта могут выдавливаться (вымораживаться) вверх твердые тела (столбы, шпунтины, реперы, колодцы, фундаменты, сваи, заборы, глыбо-обломочный материал и пр.). В развитии процесса выдавливания ведущая роль принадлежит касательным силам пучения, направленным вверх и действующим по боковым поверхностям подземных конструкций. В окрестностях Москвы один из реперов в течение 14 лет поднялся вследствие остаточного пучения на 1,1 м. Морозное пучение широко развито в Ленинграде и других районах Северо-Запада СССР. Оно проявляется на улицах,

на железных, автомобильных дорогах, в откосах каналов и в берегах рек. Наши исследования в Ленинграде показали, что грунтовые реперы поднимаются до 70 см, чаще — на 20—30 см, шпунтины и сваи — до 2,5 м (в связи с чем приходится производить ежегодные срезки), водосточные и смотровые городские колодцы — на 10—15 см, одно-двухэтажные здания — на 5—55 см и более.

Морозное пучение в Ленинграде развито избирательно, максимально оно приурочено к ленточным глинам и другим мелкодисперсным четвертичным отложениям, характеризующимся большим увлажнением и слабой водоотдачей.

В Архангельске, по нашим данным, и на улицах, и во дворах наблюдается выпор свай, металлических труб, каменных и деревянных оград, смотровых канализационных колодцев, перекос тротуаров, жилых одноэтажных деревянных домов. Внутри домов, построенных на сваях и стульях, происходит перекос полов, стен, окон, дверей. На дорогах встречаются просадочные ямы и корыта. Пучение усиливается миграцией влаги из уличных засорившихся дренажных канав, расположенных под деревянными тротуарами. *Пучение наносит большой ущерб городскому хозяйству* (повреждения дорог, покрытий, снегоочистительной техники, подземных и легких наземных сооружений). На развитие пучения оказывают влияние такие антропогенные факторы, как искусственное увлажнение грунтов, снегоуборка, увеличивающаяся глубина промерзания грунтов, понижение испаряемости вследствие асфальтирования и др.

Дорожные пучины широко распространены на уличных магистралях ряда городов, на железных и автомобильных дорогах, на аэродромах в зоне сезонной мерзлоты.

Морозное пучение иногда наблюдается при искусственном замораживании грунтов, которое в СССР получило широкое применение при строительстве метрополитенов, шахт, мостов и других сооружений. При замораживании грунты охлаждаются до —10 — —25° С. Искусственное замораживание и связанное с ним морозное пучение и просадки грунтов — типичный антропогенный, азональный, процесс, который создается человеком в любой климатической зоне. Как показывает опыт применения замораживания в градостроительстве, величина морозного пучения глинистых грунтов колеблется от 50 до 600 мм, в Москве она составляет 50—70 мм, в Ленинграде — 205 мм, в Баку — 134—574 мм.

Имеются случаи деформаций зданий и сооружений. Московский опыт применения замораживания подробно освещен в работе автора «Способы улучшения *инженерно-геологических* условий строительства» (1965).

С охлаждением и замерзанием грунтов и подземных вод связано подземное льдообразование в виде ледяных пластов, прослойков, жил, гидролакколитов, ледяных бугров и других форм.

Оно нередко сопровождается выпором вышележащих грунтов. Подземное льдообразование подробно освещено в работах Е. А. Втюриной, Б. И. Втюрина (1970), Н. А. Граве (1951), Б. Н. Достовалова, В. А. Кудрявцева (1967) и других авторов. Этот процесс *принимает антропогенный* характер при утечках вод из водоносящих подземных коммуникаций при подтоплении городских территорий, образовании верховодки и новых водоносных горизонтов в связи с подпором надмерзлотных и межмерзлотных вод, при прорыве вод и т. п. В случае прорыва грунтовых вод внутри неотапливаемых помещений образуются «ледопады», т. е. пластическое вытекание замерзших вод через окна и двери здания. В окрестностях бухты Тикси в связи с постройкой на речке плотины для тиксинского водопровода и повышением уровня грунтовых вод образовались в зоне многолетней мерзлоты бугры пучения — гидролакколиты диаметром 5—10 м, высотой 2,5 м.

Наледи образуются в карьерах, котлованах, траншеях, дорожных и других выемках при выходе на поверхность и замерзании грунтовых вод, а также при сбросе и замерзании сточных вод.

Наледи антропогенного характера образуются на реках в системе гидроузлов, в нижних бьефах, где уровень реки зарегулирован и понижен и где созданы благоприятные условия для полного промерзания сечения реки и последующего образования наледей.

В Забайкалье, на склонах южной экспозиции Кукульбейского хребта, в двух заброшенных штольнях обнаружены скопления льда. Лед образовался за 10 лет после прекращения горных работ в связи со скоплением зимнего, холодного воздуха в штольнях и их промораживанием.

В ряде городов геокриозоны на отдельных участках наблюдается процесс понижения температуры, образование «перелетков», новой многолетней мерзлоты и нарастание существующей. Процесс антропогенной аградации многолетней мерзлоты отмечен в Якутске, Воркуте, Игарке, Норильске и др. Он протекает различно, в зависимости от климатических и региональных условий. В Якутске, по свидетельству многих исследователей (М. И. Сумгин, Н. И. Салтыков, П. А. Соловьев, П. И. Мельников, Л. Н. Хрусталев и др.), процесс понижения температуры и уменьшения мощности деятельного слоя носит региональный характер. В старой, центральной части города (он существует с 1632 г.) температура грунтов под городом на 3—4° С ниже, чем за городом. На глубине 10 м температура в центре города —6 —7°, вне города — —2 —3°. Этому явлению даются разные объяснения.

Заслуживает внимания вековой процесс отклонения от старого города Якутска русла Лены и уменьшение в связи с этим утепляющего воздействия реки. В целом вопрос этот еще недостаточно ясен и требует дополнительного, более широкого и глубокого изучения.

Под влиянием антропогенных факторов, понижающих температуру грунтов, в Воркуте повышение верхней границы многолетней мерзлоты наблюдается лишь на 15%. В Игарке под влиянием застройки местами (по данным Б. И. Яковлева и Н. И. Егорова) верхняя граница мерзлых грунтов за 10 лет поднялась более чем на 1 м (Бобов и Ефимов, 1973).

В Западной Сибири, судя по наблюдениям в Игарке, уничтожение снежного и травяного покровов понижает температуру грунта с —0,5—0,6°, до —5,4—5,6° С (Баранов, 1973).

Уничтожение снежного покрова может увеличивать глубину сезонного промерзания в 3—5 раз (Достовалов, Кудрявцев, 1967). В Москве на уличных проездах, где убирается снег, глубина промерзания грунтов увеличивается на 0,5—1,5 м.

При эпизодическом увеличении глубины сезонного промерзания по сравнению с глубиной протаивания возникают «перелетки» — маломощные мерзлые толщи, существующие более одного года и исчезающие при потеплении (Воркута, Улан-Удэ, Норильск и др.). Известны азональные новообразования многолетнемерзлых грунтов вне геокриозоны, в местах, где холодный воздух проникает в заброшенные шахты, штольни и другие выработки, застаивается и образует мерзлые грунты (Урал, Забайкалье, Кольский полуостров и др.).

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ПРОТАИВАНИЕМ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Длительное протаивание, превышающее сезонное промерзание грунтов, вызывает деградацию многолетней мерзлоты — процесс наиболее характерный для южной геокриозоны. С протаиванием мерзлых грунтов и подземных льдов связаны термопросадка, термокарст, солифлюкция, оползни, сели, оврагообразование и др.

При протаивании происходит распад криогенной структуры, разжижение льдистых рыхлых грунтов, резкое снижение прочности, что приводит к просадке земной поверхности, просадке и деформации зданий и сооружений, склонов и откосов, обрушению горных выработок и пр. Наряду с этим оттаивание многолетнемерзлых грунтов имеет и положительные стороны: облегчается разрабатываемость грунтов, увеличивается мощность деятельного слоя, что очень важно для озеленения, хозяйственного использования территории.

Антропогенные факторы и условия, вызывающие и способствующие повышению температуры грунтов, указаны выше. Действие их вызывает процесс деградации многолетней мерзлоты. Понижение кровли многолетнемерзлых грунтов и увеличение мощности деятельного слоя в городах достигает 5—30 м. Под искусственными водоемами при небольшой мощности многолетней мерзлоты образуются сквозные талики.

Воркута — типичный город деградации многолетней мерзлоты, где суммарный теплоприход в грунт превышает суммарные теплопотери из грунта. В Воркуте существует высокотемпературная мерзлота (0—2° С), мощность ее составляет 30—130 м. Кровля ее в ряде пунктов опустилась на 10—30 м, и протаивание наблюдается на большей части города. По прогнозу Л. Н. Хрусталева, при плотности застройки города свыше 30% произойдет полная деградация мерзлых толщ, сейчас средняя плотность застройки равна 24% (1971). В Якутске чаши протаивания под отдельными отапливаемыми зданиями и сооружениями имеют глубину 6 м.

Ареалы протаивания вокруг теплых подземных коммуникаций имеют радиус до 10—30 м (г. Воркута и др.), иногда протаивание вызывает деформации смежных зданий. Фильтрация грунтовых вод в талых грунтах усиливает процесс протаивания. В Печорском каменноугольном бассейне имеются горящие терриконы высотой 20—40 м с температурой несколько сотен градусов, под которыми мерзлые грунты протаивают на десятки метров. В последние годы расширяется тепловая мелиорация — искусственное оттаивание грунтов, применяемое в гражданском, промышленном, горном, дорожном и других видах строительства. Оттаивание мерзлых грунтов резко понижает коэффициент крепости и облегчает разрабатываемость грунтов в 10—15 раз, что особенно существенно для земляных строительных и горных работ. Предпостроечное протаивание грунтов применяется преимущественно в южной геокриозоне, где строительство осуществляется по принципу оттаивания многолетней мерзлоты.

Термопросадка земной поверхности, зданий и сооружений — самое распространенное явление, наносящее значительный экономический ущерб. Максимальные просадки наблюдаются у рыхлых высокольдистых грунтов. При высокой льдистости грунтов (до 50—80%) мерзлые прочные грунты превращаются в слабые грунты с термопросадками до 10—50 см/м и более. По данным Б. С. Павлова (1961), для района Норильска термопросадки (в процентах от мощности оттаивающего слоя) в среднем составляют: гравелисто-галечниковые грунты 0,5—4,5, пески и супеси 4—6, суглинки с обломочным материалом 7—20, глины озерные 6—48, торф 60—80, подземные льды 100.

Термопросадки городских зданий и сооружений изменяются от 1 до 100 см и более. В отличие от талых грунтов мерзлые грунты при оттаивании имеют бо́льшую скорость осадки, достигающую в отдельных случаях 4—6 мм/сут. С увеличением веса зданий и сооружений термопросадки увеличиваются. В Воркуте средние просадки зданий составляют 250 мм, максимальные — 500—954 мм, наибольшая скорость термопросадки достигала 0,12 см/сут в июне и июле (Киселева, 1972).

В Чите просадка железнодорожных мастерских после трех лет эксплуатации достигла 500 мм; здание электростанции

после появления трещин за пять лет просело на 450 мм, скорость просадки достигала 0,4—0,6 мм/сут. Протаивание грунтов под зданием электростанции достигло 9 м от поверхности земли. Из 130 обследованных каменных зданий Читы, расположенных на низких террасах, деформировано 96 (73%), в пос. Восточном — из 70 каменных зданий, построенных после 1948 г., деформировано 58 (82%), в Черновских копях деформировано 100% зданий. Срок службы деформированных зданий сокращается до 10—30 лет. Большинство зданий построено по принципу допущения протаивания, без учета возможных геокриогенных процессов. Одно из зданий дало осадку в 1 м. Теплопровод в районе Читы просел на величину до 1 м (Котлов и др., 1967). На Чукотке известны уникальные просадки печей пекарни вследствие прогрева многолетнемерзлых грунтов на несколько метров. На территории некоторых городов развит антропогенный термокарст, возникающий под влиянием искусственного отепления грунтов, содержащих подземный лед. В связи с протаиванием подземного льда в рельефе поверхности формируются термокарстовые воронки, котловины, лощины, долины и карстовые озера различных размеров. Появление озер усиливает термокарстовый процесс, так как увеличивает теплоприток и вытаивание подземного льда. Осушение термокарстовых озер, наоборот, усиливает процесс аградации многолетней мерзлоты. Термокарст развивается там, где глубина сезонного протаивания превосходит глубину залегания подземных льдов.

С оттаиванием и потерей устойчивости грунтов на склонах формируются склоновые мерзлотные геологические процессы и явления: солифлюкция, оползни, сели, обвалы, овраги и др. (Воркута, Норильск, Чита, Салехард, Игарка и др.). Некоторые склоновые геокриогенные процессы распространены и в зоне сезонной мерзлоты, причем особенно часто в откосах искусственных выемок и насыпей. Даже в Москве наблюдалось явление солифлюкции в откосе дорожной выемки на Мосфильмовской ул., вызванное разжижением грунта после снеготаяния. Плоскостью скольжения стал слой мерзлого глинистого грунта, который не успел протаять.

Наибольший ущерб народному хозяйству наносят мерзлотные геологические процессы. С ними связаны многочисленные деформации и разрушения зданий и сооружений. В отдельных городах и городских поселках число деформированных зданий и сооружений, расположенных в зоне многолетней мерзлоты, изменяется от 25 до 95% от общего числа зданий. В Воркуте процент деформированных зданий достигает 90% (Хрусталев, 1971), в некоторых районах Читы —75—100% (Котлов, 1967, 1970в). Наибольшее распространение деформации и повреждения получили в районах высокотемпературной (—0,5—2° С) и островной многолетней мерзлоты. На южной окраине геокриозоны деформациям подвержено около 25% зданий и сооружений.

В среднем в зоне многолетней мерзлоты подвержено деформациям не менее 50% зданий и сооружений, главным образом по причинам недоучета послепостроечного поведения многолетнемерзлых грунтов и влияния геокриогенных процессов. Не предусмотренные проектами осадки грунтов составляют 75% случаев деформаций (Дементьев, Кудрявцев, Левкович, 1974). Вот почему при изысканиях, проектировании, строительстве и в практике эксплуатации зданий и сооружений необходимо больше внимания уделять термогенной геодинамике и соблюдать проверенные прогрессивные способы строительства и хозяйственного использования территорий.

Распространение и характер антропогенных мерзлотно-геологических процессов и явлений контролируется зональными и региональными геокриологическими условиями. Техническая политика в области строительства, и в том числе градостроительства, на многолетнемерзлых грунтах учитывает геокриологическое районирование СССР, в зависимости от которого дифференцируются и основные принципы строительства, и инженерно-геологические особенности выделенных районов. Основные руководящие положения изложены в таких нормативных документах, как «Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования (СНиП II-Б. 6-66)». «Пособие по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах» и «Строительная климатология и геофизика» (СНиП-II-А. 6-72).

В изысканиях, проектировании и градостроительной практике в зоне многолетней мерзлоты имеются пока еще недостатки. Наиболее существенные недостатки — несоблюдение климатического и геокриологического районирования, нарушения нормативов, неэкономическое использование городских территорий, низкая плотность застройки (400—600 м²/га), использование лучших в инженерно-геологическом отношении земель под одно-двухэтажную деревянную застройку, недостаточный уровень благоустройства. Строительство на Крайнем Севере обходится в 2,5—3 раза дороже. Это обязывает изыскателя, проектировщика и строителя находить и осуществлять научно обоснованные, наиболее экономичные, рациональные и надежные инженерные решения в условиях Крайнего Севера, добиваясь компактности застройки города, экономии территории, повышения этажности, сокращения транспортных и пешеходных путей, инженерных коммуникаций, улиц, открытых территорий, создавая средства защиты от суровой природы, отрицательного воздействия природных и антропогенных геокриологических процессов (Градостроительство на Крайнем Севере, 1969).

Человек может и должен управлять геотермическим режимом, термогеодинамикой. Это достигается регулированием факторов и условий, перечисленных в табл. 2.

АНТРОПОГЕННЫЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ПОВЫШЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ, ОБОГРЕВОМ, ОБЖИГОМ И ПЛАВЛЕНИЕМ ГРУНТОВ

Город служит источником самых разнообразных искусственных термических воздействий на окружающую среду, под влиянием которых температура грунтов может повышаться на величину от 1 до 100—1000° и более.

Антропогенные факторы, повышающие температуру грунтов, уже указывались. С повышением температуры грунтов и подземных вод существенно изменяются их состояние и свойства. При прогреве глинистых грунтов происходит уменьшение влажности, пористости, термоусадка, повышение механической прочности. При обжиге — окаменение, плавление, коренные преобразования состава и структуры грунтов. С положительными температурными воздействиями связаны следующие антропогенные геологические процессы и явления: термоусадка, окаменение, образование пустот в массиве, сдвижение грунтов, термопроседание поверхности земли, тепловое загрязнение поверхностных и подземных вод и др. Город — поставщик искусственного тепла; ниже приводим источники его поступления.

Тепловыделение и нагревание воздуха при сжигании различных видов топлива и при использовании электроэнергии.

Отдача тепла людьми и животными через дыхание и излучение. За сутки взрослый человек при полном покое выделяет столько тепла, что его хватило бы для нагревания двух ведер воды (0,03 м^3) до температуры кипения. Городского населения в СССР в 1973 г. насчитывалось 148 млн. человек, в том числе взрослого трудоспособного населения 85 млн. Следовательно, теплом, выделяемым в течение суток взрослым населением городов СССР, можно вскипятить 2,55 млн. м^3 воды.

Наличие в городах поверхностей с пониженным значением альбедо (асфальтовые и каменные покрытия, железные крыши, стены каменных зданий и пр.). Летом асфальт нагревается до 45—55°, брусчатка — до 35—40°, каменные здания — до 30—40°, еще сильнее нагреваются железные крыши. При загрязнении снежного покрова альбедо снижается в 2 и более раза (альбедо свежевыпавшего снега — 85%, а загрязненного — 40%). Поэтому во многих городах снег сходит на 1—3 недели раньше, чем в окрестностях.

Среднегодовая температура воздуха в ряде крупных городов выше, чем в окрестностях, например в Москве — на 1,4°, Ленинграде — 0,6°, Париже — 0,8°, Берлине — 0,5°, Вене — 0,5°. Разность абсолютных минимумов в Москве в отдельные годы достигает 8°. Летом в Москве теплее, чем за городом, на 3—6°. Более теплый климат городов увеличивает безморозный период, ускоряет цветение многих растений, обогревает грунты, подземные воды.

В нижней части приземного слоя на высоте до 50 см в больших городах существует совсем особый климат. При летней температуре 25—30° температура над асфальтом достигает 40—45°. Микроклиматическое состояние приземного слоя особенно существенно для детей, в связи с чем введено понятие «детского климата». Микроклимат приземного слоя в Москве на ряде участков приближается к климату Средней Азии.

В Москве многолетними, весьма точными исследованиями термического режима грунтов и подземных вод в четвертично-мезозойском комплексе, по данным В. И. Просенкова (1974), установлена под городом региональная температурная аномалия распространения более высокой температуры на большей части территории города на глубину до 250—300 м. В центре города температура подземных вод в 1,5—3 раза превышает фоновую. Передача городом тепла подстилающим грунтам происходит кондуктивным и конвективным путями. На рис. 4 и 5 представлена схема температурной аномалии.

В сфере влияния нагретых объектов (горячие цеха, печи. котлы, теплопроводы и др.) температура грунтов повышается до 30—60°, а иногда до 80—100°. В глинистых грунтах уменьшается влажность, пористость, происходит объемная термоусадка. Здания и сооружения испытывают осадку на 0,2—0,3 м и более. Известны случаи повреждения зданий и сооружений. Например, в Москве каменное здание одной котельной, расположенное в центре города, вследствие неравномерной осадки деформировалось, и в капитальных стенах образовались трещины шириной 10—20 мм, температура под котлами превышала 80°. Под фундаментами дымовых труб температура может достигать 99°, при этом влажность грунтов основания (хвалынские глины) снижается от 21—27 до 1—2%, происходит термоусадка и деформация сооружения (Абрамов и др., 1972).

Вдоль подземных теплопроводов грунты разогреты и зимой не промерзают. Повышают температуру поверхностных и подземных вод сбросы горячих и теплых технических вод в водоемы и в грунты, утечки воды из теплосетей, возникает так называемое «тепловое загрязнение» вод, отрицательно действующее на экологию рек, озер и водохранилищ. Не всегда желателен и разогрев подземных вод, которые, имея стабильную невысокую температуру (8—10°), используются для кондиционирования, изготовления различных напитков. Искусственные повышения температуры вод достигают 30—40° и более.

В очагах подземной газификации углей при температуре 600—1500° С происходит обжиг пород, при котором наблюдаются процессы сгорания углей, плавления, спекания, коренного изменения состава, структуры и свойств окружающих пород. В породах образуются новые минералы типа муллита и др. Глинистые породы «каменеют», утрачивают свойства пластичности, набухаемости, увеличивают пористость, проницаемость

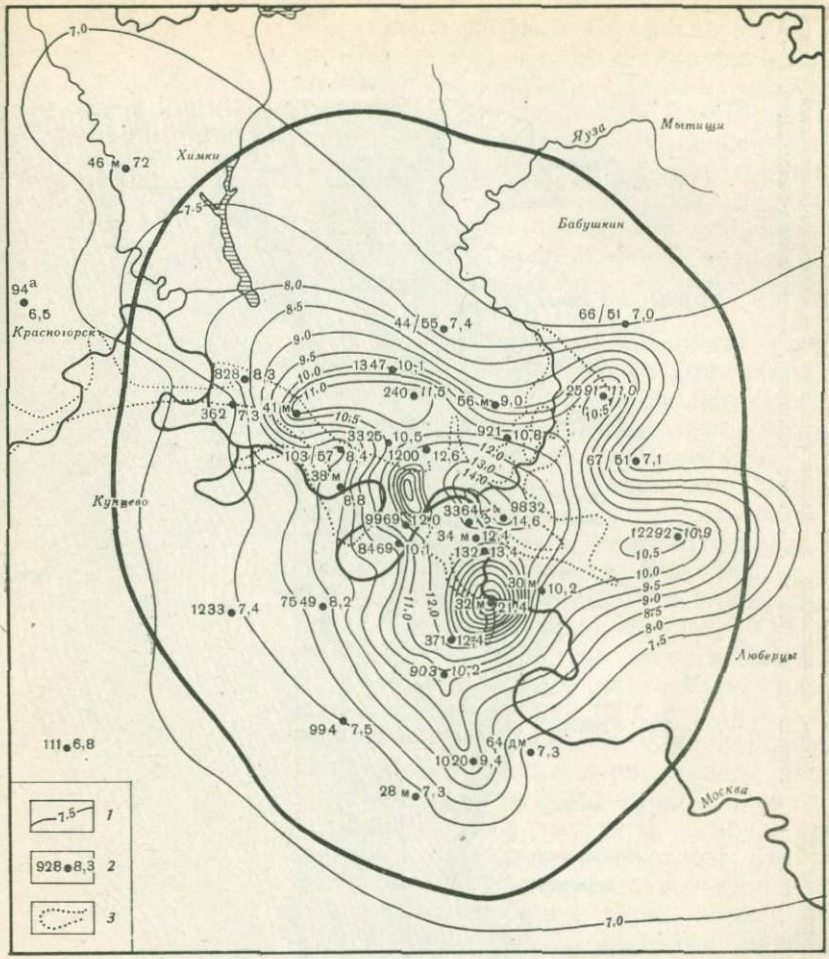


Рис. 4. Схематическая карта изотерм на глубине нейтрального слоя в районе г. Москвы (по В. И. Просенкову, 1974)

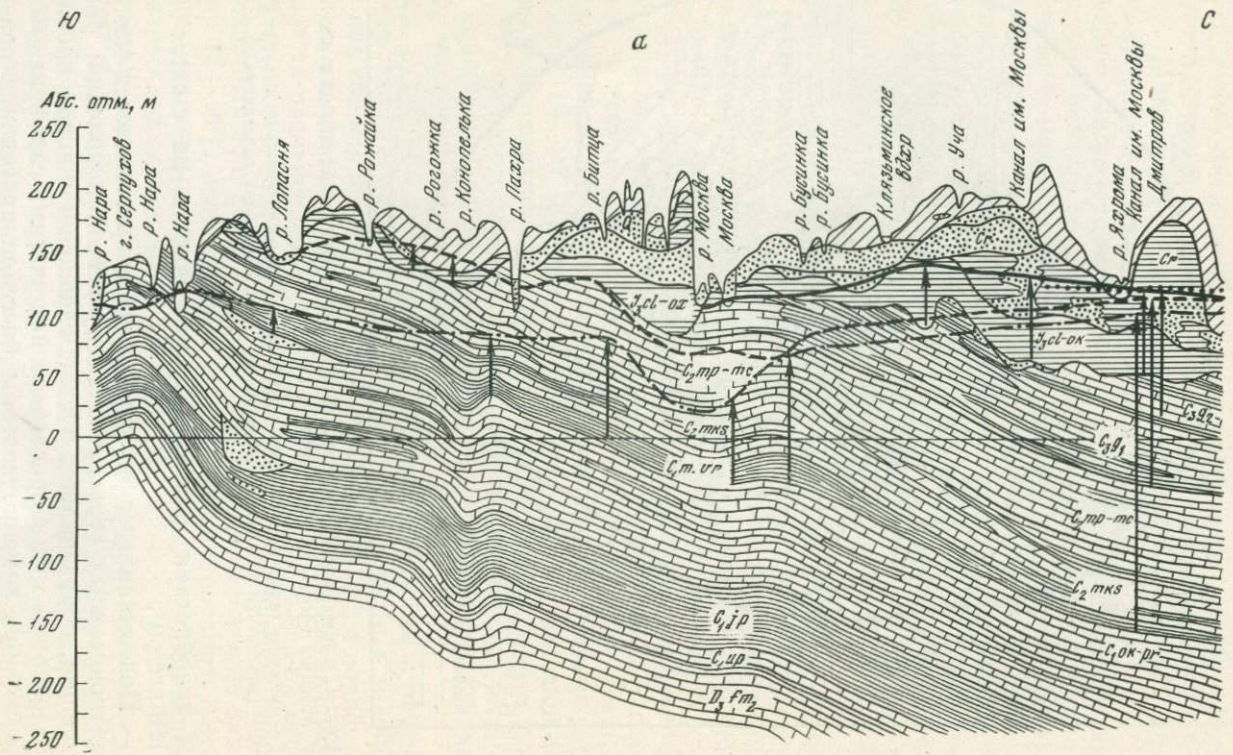
1 — изотермы (начиная с 11° С проведены через 1° С); *2* — скважина: слева — номер, справа — температура на глубине нейтрального слоя; *3* — долина доледникового размыва

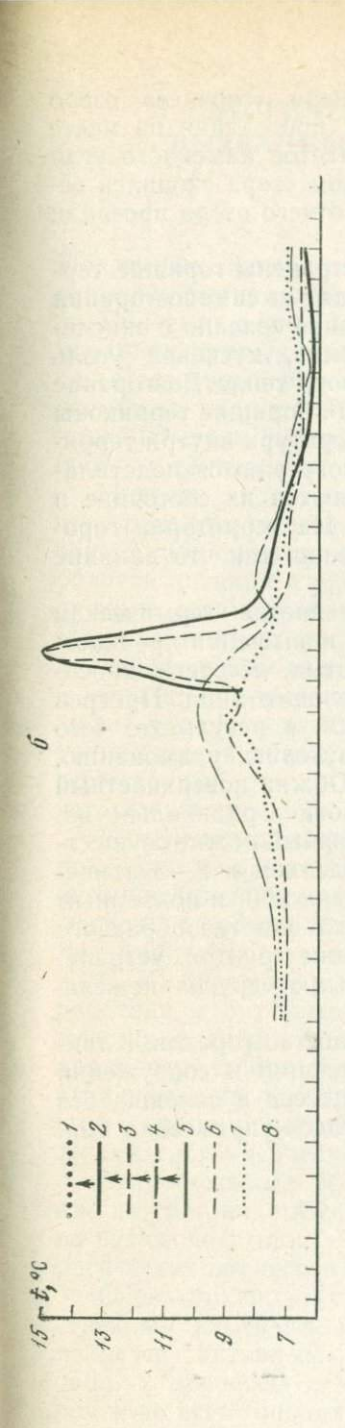
и приобретают механическую прочность на сжатие до 80—120 кгс/см².

Подземная газификация углей сопровождается комплексом антропогенных геологических процессов и явлений: развитием трещин, образованием пустот, сдвижением пород кровли и образованием мульд проседания над очагами газификации. В Подмосковном каменноугольном бассейне проседание поверхности колеблется в пределах от 0,3 до 3 м и более. Проседание обычно составляет 0,5—0,7 мощности выгазованного угольного пласта.

Рис. 5. Гидрогеологический разрез по линии Дмитров — Москва — Серпухов (*а*) и термометрический профиль (*б*) (по В. И. Просенкову, 1974)

1—4 — положение уровней водоносных горизонтов на 1972 г.: *1* — верхнегжельского, *2* — нижнегжельского, *3* — мячковско-подольского, *4* — протвинско-серпуховско-окского; *5—8* — температура водоносных горизонтов на 1970 г.: *5* — нижнегжельского, *6* — мячковско-подольского, *7* — каширского, *8* — протвинско-серпуховско-окского





В Кузбассе наблюдался провал до 15 м, что было связано с выгазовыванием круто падающего пласта. Процесс сдвижения пород при подземной газификации качественно отличается от сдвижения пород при подземной разработке горными выработками: сдвижение пород происходит более плавно и медленно и с меньшим разрыхлением покрывающих пород. Коэффициент разрыхления пород кровли при ПГУ равен 1,02—1,15.

Почти аналогичные изменения пород происходят при подземных пожарах. Горят под землей легко воспламеняющиеся угли, иногда лигниты, торфы и другие породы. Подземные пожары — довольно частое явление, иногда они длятся сотнями и тысячами лет, охватывают огромные площади и нередко связаны с деятельностью человека. Известны крупные подземные пожары IV в. в угольных копях Этьена, Дофина, пожары XVII в. копей Дуттвейлера, Эптеродо, в Цвиккау и др. Более 2000 лет длится подземный пожар на территории СССР вблизи горняцкого поселка на горе Рават (Гиссарский хребет), здесь горят пласты угля. Площадь пожара 25×1 км. В массиве пород образуются пустоты, обрушения, мульды проседания (Котлов, 1970в). В очагах ПГУ, подземных пожаров и мелиоративного обжига пород образуются новые типы пород — муллититы, глиежи, горелики и др.

Тепло подземных пожаров нагревает поверхность, оказывает влияние на ландшафт местности, в зимнее время оживляет растительность.

Близ г. Бат (Великобритания) в течение нескольких месяцев происходило подземное горение торфа, в результате чего провалилась искусственная насыпь из песка, глины и битого камня на глубину 6,5 м. В Москве в 1937 г. в течение пяти дней наблюдалось подземное горение пласта торфа мощностью 0,5—1 м в районе Краснохолмского моста, вызвавшее оседание поверхности.

В Якутии вблизи Вилюйска расположено «горячее» озеро Хаахынайдаах, образовавшееся в мульде проседания на месте древнего подземного пожара, сгорания пластов каменного угля на глубине 50 м. В пустотах пород под дном озера скопился горючий газ, который прорывается и горит, отчего озеро прозвали «пылающим».

В городах угледобычи широко распространены горящие терриконы. Горение терриконов чаще происходит от самовозгорания и реже — от внешних причин. Самовозгорание связано с окислением горючих компонентов (угольная пыль, кусковой уголь и пр.) терриконов и накоплением избыточного тепла. Возгорание начинается обычно при температуре 70—80°. Горящие терриконы дымят, загазовывают воздух городов, температура внутри терриконов может достигать 1000° и более, разогреваются подстилающие грунты и подземные воды и изменяются их состояние и свойства. Иногда терриконы взрываются. На территории городов СССР насчитываются тысячи терриконов, так что влияние их на геотермические условия ощутимо.

В градостроительной практике применяется термическая мелиорация грунтов: прогрев и обжиг для повышения прочностных свойств легко деформируемых глинистых, лёссовых просадочных, иногда и песчаных грунтов плывунного типа. Прогрев осуществляется при температуре 400—600°, в результате чего глинистые грунты теряют склонность к пучению, размоканию, повышается их механическая прочность. Обжиг поверхностный и глубинный при температуре 600—1000° более радикально изменяет структуру и свойства грунтов. Глубинный обжиг осуществляется нагнетанием в скважины под давлением в 2—3 атмосферы горячего воздуха температурой порядка 900° и подземным сжиганием в скважинах твердого, жидкого или газообразного топлива. При обжиге происходит окаменение грунтов, устранение просадочных, плывунных, тиксотропных и других нежелательных свойств.

Планировка, проектирование и строительство городов, а также нормальная эксплуатация городских зданий и сооружений немыслимы без учета геотермических процессов и явлений, без знания закономерностей их развития и методов управления ими.

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЕМ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ

Подземные воды — наиболее чуткий индикатор антропогенных изменений природной геологической среды.

Подземная гидросфера городов активно изменяется под влиянием прямых и косвенных воздействий человека. Нарушается естественный режим подземных вод и изменяются почти все элементы природной гидрогеологической обстановки: условия питания, стока, разгрузки, уровни, напоры, скорости, химический состав и температура подземных вод.

Нередко гидрогеологическая обстановка изменяется коренным образом: исчезают и появляются новые водоносные горизонты, образуются зоны подпора, депрессии, перемещаются области питания и разгрузки, пути фильтрации вод, нарушается сложившееся взаимодействие поверхностных и подземных вод. Подземные воды так сильно загрязняются, что перестают служить источником водоснабжения.

В одних городах преобладает понижение, в других — повышение уровня подземных вод, в пределах одного города может понижаться и повышаться их уровень. На территориях городов естественный режим подземных вод постепенно сменяется неустановившимся антропогенным режимом городского типа.

Изменения режима наблюдаются не только в грунтовых водах, но и в артезианских водоносных горизонтах в связи с их эксплуатацией для водоснабжения (изменения уровня на сотни метров), с производством горных работ (до 1 — реже 4 км) и откачками нефти и газа (до 4—8 км).

С. К. Абрамовым, Б. М. Дегтяревым и Е. С. Дзекцером разработана и опубликована (1972) классификация режимообразующих факторов и причин изменения гидрогеологических условий территории городов, в которой факторы разделены на активные и пассивные, естественные и искусственные, действующие в процессе строительства и в процессе эксплуатации сооружений, систематические, периодические и эпизодические.

Антропогенные изменения подземных вод оказывают влияние на состояние и свойства грунтов, с которыми они находятся во взаимодействии, а также на развитие ряда современных геологических процессов и явлений.

Очень широк круг процессов и явлений, связанных с искусственным изменением режима подземных вод, поскольку вода является активным геологическим фактором. Указанные в табл. 2 процессы и явления в той или иной степени развиты почти во всех городах. Здесь формируются специфические комп-

лексы (классы) антропогенных геологических процессов и явлений, вызванные понижением уровня подземных вод и обезвоживанием грунтов, повышением уровня подземных вод и обводнением грунтов, изменением фильтрационно-гидродинамического режима и изменением химического режима.

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ПОНИЖЕНИЕМ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ОСУШЕНИЕМ ГРУНТОВ

В городах обычно совмещаются понижение и повышение уровня подземных вод, однако процесс понижения уровня в большинстве случаев преобладает над процессом повышения. Это связано с большими и нарастающими расходами подземных вод на нужды питьевого, технического и хозяйственного водоснабжения городов, с откачками при производстве строительных и горных работ, с устройством и эксплуатацией стационарных дренажных систем и т. п. В СССР из недр ежегодно извлекается до 15 млрд. м^3 подземных вод; в общем балансе водоснабжения доля подземных вод составляет 23%.

В тех случаях, когда область питания водоносных горизонтов полностью или частично совпадает с границами города, инфильтрационное питание подземных вод за счет атмосферных осадков существенно сокращается. Коэффициент инфильтрации в городах уменьшается от 30 до 80% за счет застройки территории, устройства водонепроницаемых асфальтовых и других покрытий, устройства водосточной системы, канализирования мелких речек и ручьев, засыпки оврагов, снегоуборки, вырубки лесов и др. Например, в Москве средний коэффициент инфильтрации атмосферных осадков за счет влияния искусственных факторов, по подсчетам автора, снизился на 40—50% и в перспективе будет продолжать снижаться; в Киеве — на 70—80%. Для крупных городов характерно наличие отрицательного баланса в водоносных горизонтах, находящихся в зоне влияния города, т. е. преобладание расходов над приходом вод. Поэтому во многих крупных городах образовались депрессионные воронки, глубина которых достигает 100—300 м и более, а площадь распространения — до нескольких сот и тысяч квадратных километров, и, как указывалось выше, в городах, где производится глубинная добыча полезных ископаемых, подземные воды сдренированы на многие сотни и тысячи метров.

Различаются временные, долговременные и вековые понижения уровня подземных вод. В некоторых крупных и древних городах вековые понижения горизонта грунтовых вод подтверждаются наличием древних погребенных обезвоженных колодцев, на дне которых обнаруживаются археологические находки (посуда и другие изделия), позволяющие датировать время их существования. С древних времен в Москве грунтовые воды широ-

ко использовались для водоснабжения; в 1830 г. в городе эксплуатировалось 4813 колодцев. При строительстве метрополитена и при вскрытии строительных котлованов было обнаружено много засыпанных колодцев, дно которых ныне располагается выше уровня грунтовых вод.

С водопонижением связана серия сопутствующих гидролитогенных процессов и явлений: гидростатическое обжатие грунтов и оседание поверхности, дегидратационно-гидравлическое сжатие и оседание, дегидратационно-транспирационное оседание, деструкционное проседание, увеличение зон аэрации, глубины промерзания и выветривания грунтов и др. Название «гидролитогенные процессы» предложено автором, оно выражает гидрогеологические процессы, развивающиеся внутри массива грунтов в результате взаимодействия вод и грунтов. В ряде городов с понижением уровня подземных вод связаны такие явления, как уменьшение водности рек, исчезновение мелких рек и ручьев, озер, прудов, болот, родников, гибель растительности, внедрение соленых морских вод в континентальные горизонты пресных вод со сниженным уровнем и др.

Депрессионные воронки практически сформировались почти во всех крупных промышленных городах мира, где подземные воды длительно и в больших объемах извлекаются из недр.

Крупные и значительные депрессионные воронки сформировались в Москве, Ленинграде, Киеве, Харькове, Полтаве, Донецке, Горловке, Курске, Брянске, Белгороде, Орле, Смоленске, Краснодаре, Мелитополе, Одессе, Херсоне, Керчи и многих других городах СССР.

В Москве эксплуатация артезианских вод каменноугольных водоносных горизонтов началась с 1880 г. и к настоящему времени достигла огромных размеров. В общем балансе потребляемой в Москве воды на долю подземных вод приходится 13—15%. Широко используются подземные воды промышленностью. По подсчетам автора, в 1960 г. суммарный водоотбор из недр Москвы составлял в среднем 325 тыс. м^3 в сутки или 118 625 000 м^3 в год, что равно объему четырех Химкинских водохранилищ и соответствует слою воды в 318 мм, равномерно распределенному по площади города. За 20 лет (1938—1958 гг.) из недр выкачено 2,37 млрд. м^3 подземных вод. Величина понижения уровня грунтовых вод под влиянием откачек при строительстве метрополитена на отдельных участках достигала 32 м (Котлов, 1962).

В результате дренирующего влияния откачек на некоторых участках грунтовые воды дренируются не р. Москвой, а долинами доледникового размыва (Замоскворецкая, Хамовническая излучины и др.). Вследствие понижения уровня грунтовых вод р. Москва на ряде участков оказалась в подвешенном состоянии и стала протекать как бы в «корыте». На рис. 6 приведена схема районирования территории г. Москвы по типам режима грунто-

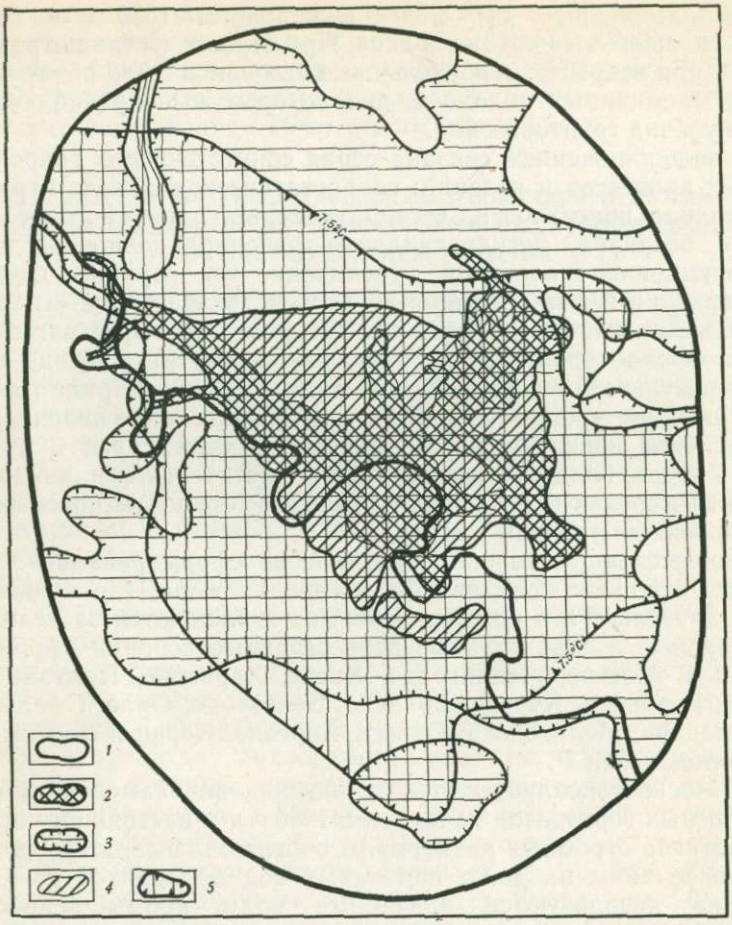


Рис. 6. Схема районирования территории Москвы по типам режима грунтовых вод (*по* В. И. Просенкову, 1974)

1 — граница района с нарушенным типом режима уровня; *2* — район преимущественного влияния откачек из артезианских скважин и шахт метро; *3* — район с нарушенным типом гидрохимического режима; *4* — район преимущественного влияния застройки и асфальтировки; *5* — район с нарушенным типом температурного режима

вых вод (Просенков, 1974). Суммарный водоотбор из водоносных горизонтов среднего карбона (C_2) и протвинско-серпуховско-окского (C_1) комплекса г. Москвы и пригорода достиг 900 тыс. м^3/сут. В масштабе Московской агломерации суммарный водоотбор составляет 2,8 млн. м^3/сут (Просенков, 1974).

Если с 1900 по 1955 г. пьезометрические уровни в среднем карбоне (C_2) снизились на 25—35 м, в нижнем карбоне (C_1) — на 35—40 м, то к 1974 г., по данным В. И. Просенкова, депрес-

сионная воронка в мячковско-подольском горизонте стала иметь глубину до 70—80 м (в районе Останкино-Ростокино и Мытищи-Балашиха) и радиус до 50 км, а в протвинско-серпуховско-окском комплексе — глубину до 110 м и радиус до 70 км. Среднее многолетнее снижение уровня составляет до 3—5 м в год (Просенков, 1974). На фоне огромной региональной депрессии в Москве существует несколько местных депрессионных воронок, приуроченных к групповым водозаборам. По данным В. И. Просенкова, в связи с неравномерным водоотбором и водопонижением в разных горизонтах многоэтажного Московского артезианского бассейна возникли неравномерные поэтажные градиенты напора, под влиянием которых стала наблюдаться вертикальная фильтрация подземных вод сверху вниз, причем не только через водоупорные окна, но и через региональные водоупоры, которые следует считать относительно водонепроницаемыми (от дневной поверхности до протвинско-серпуховско-окского водоносного комплекса включительно) и снизу вверх, т. е. восходящая фильтрация, из более глубоких водоносных горизонтов нижнего карбона и девона в связи со значительным падением напора в верхнем карбоне. Нарушенные гидродинамические равновесия (поэтажные градиенты напора, порождающие вертикальную фильтрацию вод) в природе имеют тенденцию к выравниванию, с этим и связаны нисходящие и восходящие перетоки вод из одного горизонта в другой. Вертикальная фильтрация активизировала карстово-суффозионные процессы на территории Москвы. С вертикальным водообменом связано формирование температурной и гидрохимической аномалий в подземных водах города.

Город, выделяя в большом количестве антропогенное тепло, оказывает отепляющее воздействие на подземные воды на глубину до 300 м. Превышение средней температуры над фоновой с глубиной убывает в диапазоне от 1,06 до 0,4° С. В общем балансе температурного поля подземных вод Москвы доля отепляющего влияния города составляет 72%.

На глубину до 300 м проникли антропогенные гидрохимические процессы, перенос солей сверху вниз. Новейшие исследования антропогенных изменений подземных вод в условиях их длительной эксплуатации (Просенков, 1974) требуют рациональной эксплуатации и охраны ресурсов подземных вод не только Москвы, но и других крупных индустриальных центров Советского Союза, где сформировались значительные депрессионные воронки.

В районе Ленинграда в артезианских водах, заключенных в нижнекембрийских гдовских песчаниках и песках, залегающих на глубине 120—200 м, в результате длительной эксплуатации вод (начиная со второй половины XIX в.) сформировалась крупная депрессия максимальной глубиной более 60 м и диаметром до 100 км и более, площадью около 16 тыс. км². Годовые колеба-

ния уровня в центре депрессии достигают 15—20 м (Гидрогеология СССР, 1973, с. 26—30).

В Киеве в юрском водоносном горизонте снижение пьезометрического уровня превысило 65 м, депрессионная воронка стала местом дренирования вод этого горизонта. В сеноманском водоносном горизонте на территории Киева сформировалась депрессионная воронка диаметром более 40 км и глубиной 65 м и более. Район, где ранее происходила разгрузка сеноманского водоносного горизонта, впоследствии стал местной областью питания за счет бучакско-каневского (его уровень также снизился на 10—15 м) аллювиального горизонта, а в период паводков — и за счет вод Днепра (Котлов и др., 1967).

При строительстве Киевского метрополитена уровень грунтовых вод в связи с откачками на отдельных участках снижался на 26 м. В Харькове в результате интенсивной эксплуатации горизонта нижнемеловых пород образовалась большая депрессия радиусом более 100 км. Скорость снижения пьезометрических уровней достигала 2 м/год за 1960—1969 гг. В Курске общее снижение пьезометрических поверхностей в юрско-среднедевонском водоносном комплексе в пределах водозаборов к 1966 г. достигло 45—60 м, радиус депрессии превысил 70 км (Гидрогеология СССР, 1973).

По данным Г. Я. Гончара и О. А. Федосеевой (1970), в ряде городов северо-западного Причерноморья и Крыма за последние 10—15 лет снизились уровни артезианских вод (Белгород-Днестровский, Овидиополь, Одесса, Очаков, Херсон, Феодосия, Керчь, Бахчисарай, Джанкой и др.) в среднем на 10—20 м, а в отдельных пунктах — на 30—40 м.

В Мелитополе пьезометрический уровень снижен на 77 м, диаметр депрессионной воронки достиг 60 км в связи с водоотбором из палеоцен-среднеэоценового водоносного горизонта. Большое влияние на формирование депрессии Мелитополя оказало водопонижение на Белозерском железорудном месторождении на 168 м.

Пьезометрические уровни некоторых артезианских водоносных горизонтов снизились в ряде зарубежных городов (Великобритания — Лондон — более 100 м; США — Делано — 70 м, Кэттлмен-Сити — 90 м, Хьюстон, Порт-Артур, Бейтуан, Бьюмонт; Япония — Токио, Амагасаки, Осака, Нагоя; Мексика — Мехико; Италия — Венеция; Париж, Берлин и многие другие города). На территории Лондона под влиянием водопонижения проявились сопутствующие явления: падение дебита, исчезновение источников, осушение колодцев, уменьшение расходов рек Ли, Крэй и Дарнет — притоков Темзы, загрязнение подземных вод, инверсия солоноватых вод эстуария и др.

Более подробная информация о водопонижениях дана в ряде работ автора и других исследователей (Гармонов и др., 1965; Гидрогеология СССР, 1973). Больших размеров депрессии до-

стигают в районах добычи полезных ископаемых (угля, железа, нефти и др.). В некоторых городах при добыче угля подземным способом обезвоживается целый комплекс водоносных горизонтов на глубину до 1000 м и более, а диаметры депрессионных поверхностей исчисляются сотнями километров. В городах нефтедобычи снижение пьезометрических уровней подземных вод достигает еще больших размеров и исчисляется сотнями метров (Баку и др.).

В связи с водопонижением и обезвоживанием грунтов изменяются их состояние и многие физико-механические свойства. Осушение и дегидратация сопровождаются уменьшением влажности, утонением гидратных оболочек вокруг минеральных частиц, увеличением молекулярного сцепления между ними, повышением плотности, прочностных свойств грунтов.

В связи с извлечением воды из недр земли развиты гидростатические, дегидратационные и деструкционные типы осадок. Оседание поверхности выражает совокупность многообразных эндолитогенных процессов и явлений, происходящих в земной коре под влиянием извлечения из недр больших масс подземных вод.

Значительные водопонижения изменяют силовое поле напряжений в массиве пород, силы гидростатического и гидродинамического давления воды на скелет породы.

В связи с откачками подземных вод происходит изменение состояния и свойств как водовмещающих, так и водоупорных пород. Гидростатическое уплотнение рыхлых пород возможно при значительных понижениях уровня, когда снимается или уменьшается взвешивающее влияние воды и происходит как бы увеличение сил тяжести, возрастание эффективной нагрузки и уплотнение сжимаемых пород водоносного горизонта. Увеличение давления на скелет породы (Δp) в связи с водопонижением может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\Delta p = (\delta - \delta_u) \cdot h \cdot 0{,}1,$$

где Δp — приращение нагрузки на скелет породы, кгс/см^2; δ — объемный вес породы (до водопонижения); $\delta_и$ — объемный вес породы, взвешенной в воде; h — величина водопонижения, м.

Если принять среднюю величину объемного веса пород до водопонижения $\delta = 1{,}8$, а величину объемного веса породы, взвешенной в воде, $\delta_и = 1$, то увеличение давления (Δp) при разных водопонижениях (h) будет составлять:

h, м	Δp, кгс/см^2	h, м	Δp, кгс/см^2
10	0,8	60	4,8
20	1,6	70	5,6
30	2,4	80	6,4
40	3,2	90	7,2
50	4,0	100	8,0

Как видно, при значительных водопонижениях дополнительная нагрузка (Δp) достигает существенной величины, способной оказать активное уплотняющее влияние на сжимаемые породы.

В напорных водоносных горизонтах снижение пьезометрического уровня на каждые 10 м вызывает увеличение давления вышележащих пород на водоносные толщи на 1 кгс/см^2.

При возникновении градиентов напора в системе водоносных горизонтов, вызванных искусственным понижением уровня, возможен отток воды из водоупоров в направлении от бо́льших давлений к меньшим, что вызывает процесс сжатия и уплотнения глинистых водоупорных пород.

В результате сжатия пород происходит опускание земной поверхности. Величина осадки пород зависит не только от величины сил, их вызывающих, но и от степени сжимаемости пород. Молодые тонкодисперсные, мягкие, рыхлые, гидрофильные, водонасыщенные породы характеризуются наибольшей деформируемостью. Переслаивание сжимаемых пород с хорошо фильтрующими породами усиливает и ускоряет процесс дренирования и сжатия пород при откачках.

Величина опускания поверхности земли колеблется от нескольких сантиметров до 9 м (г. Мехико). В связи с неоднородным литологическим строением мульд оседания и сменой пород по простиранию и глубине осадки носят неравномерный характер как во времени, так и в пространстве.

Оседание вызывает серию нежелательных сопутствующих процессов и явлений, которые причиняют экономический ущерб.

В результате опускания местности повышается уровень грунтовых вод, с чем связано подтопление, заболачивание местности, обводнение подвалов зданий и др. В прибрежных районах затапливаются водой низкие побережья океанов, морей, рек, озер и водохранилищ, в связи с чем выбывают из строя здания, сооружения, дефицитные земли городов и промышленных центров.

Неравномерные осадки вызывают расстройство железных, автомобильных дорог, каналов, нефтепроводов, теплопроводов, газопроводов и других подземных коммуникаций, деформацию зданий и сооружений.

Над депрессионными воронками подземных вод почти всюду сформировались понижения поверхности, связанные с процессами сжатия, деструкции пород и снижением внутрипластовых напоров. Площадь мульд оседания в городах изменяется от долей квадратных километров до 3500 км^2 и более. В Токио она составляет 300 км^2, в г. Осака — 90 км^2, в Большом Лондоне — 1800 км^2, в районе Сан-Хоакин (США) — 3500 км^2. Максимальная величина оседания в отдельных очагах достигает в Москве — 0,35 м, Лондоне — 0,3 м, Делано (США) — 3 м, Осаке — 3 м, Токио — 7 м, Лонг-Биче (США) — 7,6 м, в Мехико — 9 м.

Максимальное оседание наблюдается в г. Мехико (9 м), и это не случайно. Для геологического разреза Мехико характерно

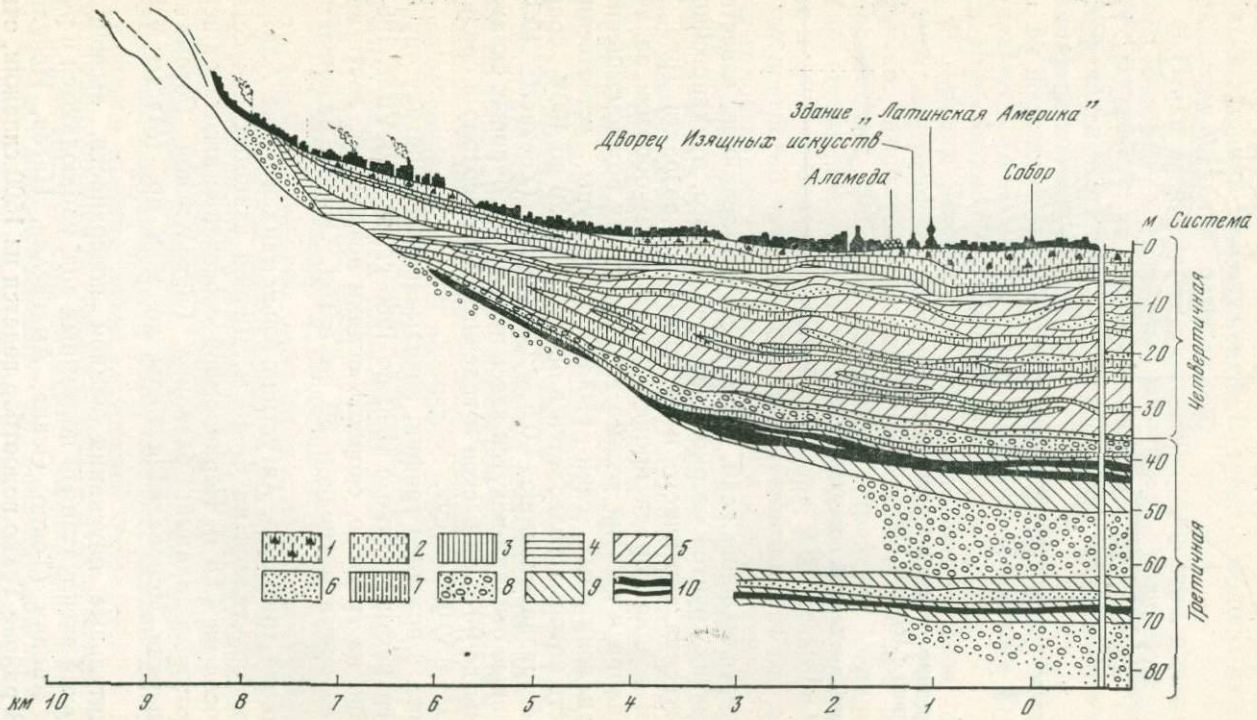


Рис. 7. Геологический профиль г. Мехико

1 — аллювиальные отложения с археологическими остатками; *2* — аллювиальные отложения без археологических остатков; *3* — известковая формация Количес; *4* — пемзовые пески, глинистые илы, известковые образования; *5* — глинистая формация Такувуача; *6* — черные вулканические пески; *7* — известковая формация; *8* — пески и галечники сцементированные; *9* — глинистая формация Таранго; *10* — прослои песка и вулканического стекла

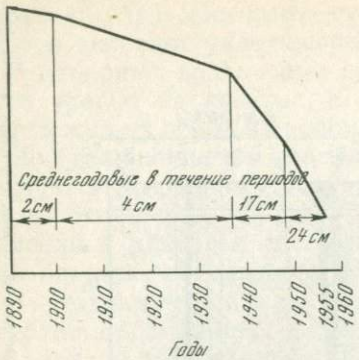


Рис. 8. Средние опускания поверхности г. Мехико с 1890 по 1956 г.

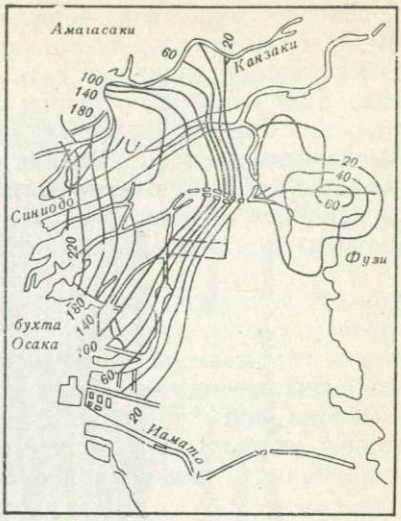


Рис. 9. Оседание земной поверхности в г. Осака с 1935 по 1960 г.

частое переслаивание глин, илов, песков, галечников, известняков и других грунтов озерного, аллювиального, вулканогенного происхождения третичного и четвертичного возраста (рис. 7). Большая осадка города происходит главным образом за счет дренирования и сжатия весьма гидрофильных водонасыщенных монтмориллонитовых глин рыхлой структуры, естественная влажность которых колеблется в пределах от 20 до 400%, сопротивление раздавливанию — 0,5 — 2,0 кгс/см² (Zcevaert, 1953). Интенсивные откачки ведутся здесь издавна из буровых скважин с глубины до 90 м из песков и галечников. Водоотбор в среднем превышает 8 50 000 м³/сут.

На рис. 8 помещен график, показывающий кинетику опусканий поверхности Мехико с 1890 по 1956 г. (Macau Vilar, 1957). Как видно на графике, скорость осадки возрастает, достигая в последнее время в среднем 30 см в год. Осадки развиваются неравномерно.

В районе храма Св. Августина Алькомана и банка Аламеда местность опустилась на 6—10 м. Дворец изящных искусств с 1937 г. осел на 4,88 м. Неравномерное оседание вызывает перекос некоторых зданий: базилики Гваделупской Богоматери на 4°, церкви Исповедания Веры до 1° и др. (Macau Vilar, 1957).

Значительные опускания земной поверхности, вызванные интенсивной эксплуатацией подземных вод, наблюдаются в ряде городов Японии (Токио, Осака, Амагасаки, Нагоя, Йоккаити и др.). В районе Токио водоотбор ведется из 1500 скважин, откачивается воды около 700 тыс. м³ в сутки, в связи с чем происходит опускание земной поверхности на площади более 300 км²

на величину до 7 м и более. Скорость годового оседания максимально достигает 20 см/год. Опускание сопровождается затоплением низких прибрежных территорий, деформацией отдельных зданий и сооружений. В связи с водопонижением наблюдается внедрение соленых вод.

В Осаке, крупнейшем промышленном центре, в связи с большим отбором с глубины 90—105 м подземных вод (до 325 тыс. м^3/сут) из древнечетвертичных отложений, опускание поверхности достигает 3 м. На рис. 9 показаны изолинии оседания поверхности города.

За последние 10 лет ежегодные максимальные оседания составляют в Токио 19 см, Осаке 20, Нагое 6, Ниигате 50 м (здесь оседание связано с добычей нефти и газа).

В городах Японии, где происходит интенсивное опускание земной поверхности, применяются следующие защитные мероприятия: ограничение водоотбора, закачка в недра речных и морских вод (противодавление), устройство оградительных дамб, повышение отметок местности намывом и подсыпкой грунтов и др. В г. Осака вдоль берегов моря, рек и каналов к 1958 г. было построено дамб общей протяженностью 124 км, для повышения поверхности земли уложено 26,6 млн. м^3 грунта.

На территории США значительные оседания под влиянием водопонижения отмечены в ряде городов; в районе г. Техас отмечалось оседание на величину 1,2 м, в районе городов Хьюстон, Бейтуан, Бьюмонт, Порт-Артур, Оранж — порядка 0,8 м.

Оседания вызваны откачками подземных вод из песков плиоцена. Объемы откачек по данным 1956 г. в районе городов Хьюстон и Бейтуан достигали 750 тыс. м^3, в г. Техас 87 тыс. м^3 в сутки. В штате Калифорния снижение пьезометрического уровня с 1921 по 1952 г. равнялось в г. Ричгров 64,5 м, в г. Делано 34,5 м. Площадь оседания в последнем составляла 1150 км^2, максимальное оседание с 1902 по 1954 г. достигло 3 м и приурочено к окрестностям города. Уменьшение объема пор здесь отвечает объему оседания. Это установлено исследованиями Уинслоу и Вуда (Гармонов и др., 1965).

В опасности находится уникальный город Венеция. Поверхность города неуклонно опускается относительно уровня моря, что связано с интенсивным отбором подземных вод из более чем 4 тыс. артезианских скважин и с другими причинами. Ученые прогнозируют опускание Венеции еще на 30 см к 2000 г.

В Лондоне длительно эксплуатируется меловой горизонт Лондонского артезианского бассейна. Под влиянием водоотбора и снижения пьезометрических уровней более чем на 100 м на территории Большого Лондона возникла региональная депрессия поверхности земли. Оседание обусловлено дренированием и сжатием толщи лондонских глин. Оседание подтверждено данными повторного нивелирования и расчетами, выполненными Уилсоном и Грейсом (Vilson, Grace, 1942—1943).

Величина оседания по данным повторных нивелировок в центральных районах Лондона колеблется от 6 до 32 см и более (Longfield, 1932). По расчетным данным, которые учитывали только процесс сжатия грунтов вследствие дренирования, оседание на 1931 г. колебалось от 3 до 21 см (рис. 10), к 2000 г. оседание достигнет 45 см (рис. 11). Малая величина оседания обусловлена высокой степенью литификации лондонских глин.

Невелико оседание и территории Москвы (до 0,35 м). А. И. Снобковой выполнено детальное исследование вертикальных смещений земной поверхности. Величина оседания определялась по данным четырех повторных нивелировок 1901, 1936, 1950 и 1963—1965 гг. и расчетными методами. Составлены карты вертикальных смещений для 1901—1936, 1936—1950, 1950—1963—1965 и 1901—1965 гг. Для каждого периода величина осадок колебалась от 1 до 775 мм, а скорости осадок — от 0,03 до 32 мм/год. Эти карты синтезировали все генетические виды осадок, вызванные не только водопонижением, но и другими воздействиями. Расчетные методы позволили уточнить и выделить гидростатические, дегидратационные и деструкционные осадки по 17 пунктам территории Москвы для отдельных типов пород, вызванные только водопонижением. Величина их для периода 1936—1950 гг. (14 лет), по расчетам А. И. Снобковой (1972), составляет: четвертичных песчаных и супесчаных отложений 3—35 мм; юрских пластичных глин 10—40 мм, каменноугольных плотных, маловлажных глин 5—7 мм. С 1901 г. суммарная величина оседания под влиянием водопонижения колебалась от 0 до 0,35 м. Малая величина оседания Москвы по сравнению с некоторыми другими городами обусловлена преобладанием в геологическом разрезе малосжимаемых грунтов и менее интенсивным водопонижением. Подробнее оседание Москвы, вызванное искусственным водопонижением, освещено в работах Ф. В. Котлова (1962), А. И. Снобковой (1972, 1973) Г. Н. Сазонова (1973).

С процессом длительного понижения уровня подземных вод связаны процессы деструкции, т. е. разложения органического вещества в составе грунтов (торфы, органические илы, погребенные почвы, культурный слой и др.); гниения деревянных свай, служащих основанием многочисленных зданий и сооружений. В связи с этим особое значение приобретает сохранение архитектурных и исторических памятников в древних городах.

Известны процессы дегидратационного сжатия глинистых пород и связанные с ними осадки и деформации городских зданий и сооружений, вызванные транспирационным эффектом, т. е. высасыванием влаги корневой системой зеленых насаждений, близко расположенных к зданиям. Многие кустарниковые и древесные растения используют грунтовые воды с глубины до 10—15 м. Повреждения большого числа зданий, связанные с

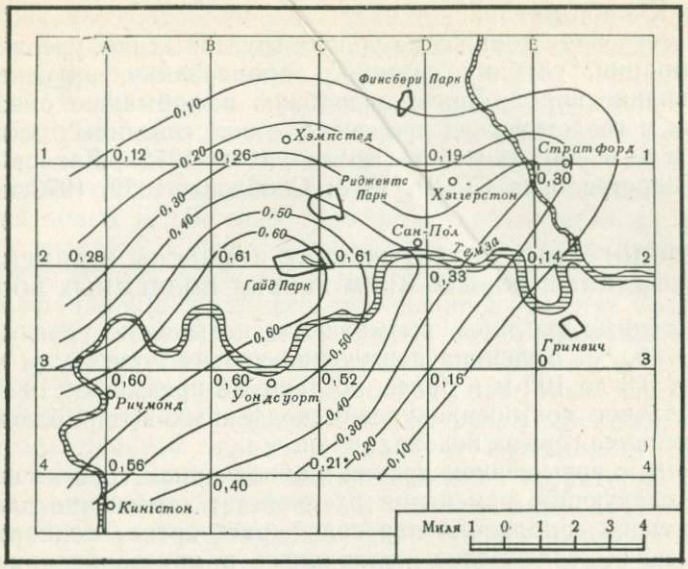


Рис. 10. Схема расчетных осадок поверхности Лондона с 1865 по 1931 г. (в англ. футах)

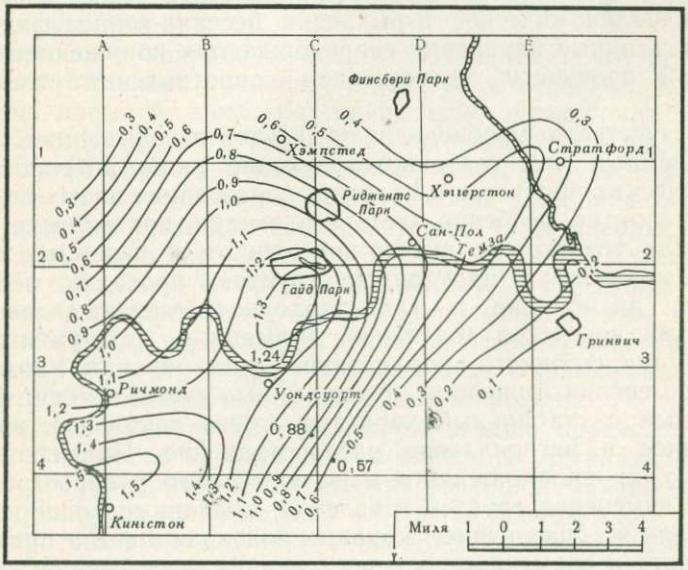


Рис. 11. Прогноз оседания поверхности Лондона на 2000 г. (в англ. футах)

транспирационным осушением глин и их усадкой, отмечены в городах Южной Англии.

Искусственное понижение уровня грунтовых вод увеличивает зону аэрации, глубину сезонного промерзания, активизирует выветривание пород. Более подробную информацию о водопонижении и геологических процессах, с ним связанных, читатель найдет в ряде других работ (Котлов, 1962, 1972а; Котлов и др., 1967; Гидрогеология СССР, 1973; Снобкова, 1972, 1973 и др.).

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ПОВЫШЕНИЕМ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Антропогенные факторы, вызывающие повышение уровня, указаны в табл. 2. Величина повышения уровня колеблется в пределах от 0,5 до 100 м и более, но чаще не превышает 10—15 м. Максимальное повышение уровня подземных вод наблюдается в зоне влияния горных водохранилищ.

В связи с повышением уровня и обводнением грунтов наблюдаются следующие изменения их свойств: увеличение влажности и степени заполнения пор водой, растворение воднорастворимых солей, ослабление коллоидных и кристаллизационных связей, просадки, набухание, размокание, распад структуры глинистых пород, размягчение сцементированных скальных, полускальных осадочных и твердых глинистых пород, разуплотнение рыхлых пород в результате гидростатического взвешивания, гидродинамическое взрыхление песчано-глинистых пород и др. Указанные изменения сопровождаются понижением механической прочности, уменьшением сопротивления сжатию и сдвигу.

С искусственным обводнением грунтов и повышением зеркала подземных вод связаны следующие виды антропогенных геологических процессов и явлений: образование новых водоносных горизонтов, особенно часто верховодки, подтопление, заболачивание территории, выпор поверхности и наземных сооружений в связи с набуханием грунтов, просадки лёссовых грунтов, размокание и гидратационное оседание, развитие склоновых процессов (оползней, оплывин и др.), уменьшение зон аэрации, сезонного промерзания и выветривания. Указанные выше изменения грунтов и антропогенные явления могут носить временный и стабильный характер, иметь локальное, крупноплощадное и региональное распространение. Примером стабильного, крупноплощадного и регионального распространения служат изменения грунтов и явления, вызванные подпором рек плотинами и образованием крупных водохранилищ, а примером локального и временного распространения — изменения грунтов и явления, вызванные утечками вод из подземных коммуникаций, и т. п. Повышение уровня грунтовых вод, образование новых водоносных горизонтов часто наблюдается во многих при-

брежных городах, испытывающих влияние подпора подземных вод в связи с созданием водохранилищ. Например, на Волге и Каме в результате создания огромных водохранилищ в полосе речных террас протяжением несколько тысяч километров и шириной до 10—20 км, образовался подпор грунтовых вод, в результате которого на низких берегах в комплексе ранее безводных аллювиальных образований террас появились новые водоносные горизонты. Наиболее существенно процесс формирования новых водоносных горизонтов проявляется на приплотинных участках в зоне максимального подпора (например, у г. Братска подпор около 300 м.) В Москве, в районе Химкинского водохранилища, после его заполнения на высоту более 20 м водоносный горизонт, заключенный во флювиогляциальных песках под мореной, из безнапорного превратился в напорный горизонт. Во многих городах выполнены защитные мероприятия для предотвращения подтопления: устроены дренажи, дамбы, повышены отметки террас намывом и подсыпками грунтов. Подтопление застроенных частей городских территорий следует считать типичным антропогенным геологическим процессом. Он возникает там, где в результате деятельности человека изменен баланс подземных вод в направлении уменьшения расходных и увеличения приходных составляющих, где нарушен режим подземных вод и влажностной режим зоны аэрации. Подтопление начинает зарождаться еще в процессе строительства города и вступает в зрелую фазу в процессе эксплуатации городских зданий и сооружений.

В городах в начальную стадию подтопления его развитию способствуют намыв грунтов, устройство котлованов, траншей, карьеров, насыпей, дамб, благодаря чему поверхностный сток трансформируется в грунтовый и активизируется инфильтрация; засыпка оврагов, балок, мелких речек и ручьев, служивших ранее естественными дренами, а после засыпки и особенно без дренажных устройств способствующих подтоплению; расположение подземных сооружений (метро, подземных переходов, фундаментов зданий и сооружений, различных городских объектов) длинной стороной перпендикулярно направлению подземного стока, создающее барражирующий эффект; формирование способами мелиорации крупных массивов водонепроницаемых грунтов; применение сжатого воздуха при проходке.

В период эксплуатации во вторую стадию процесс подтопления развивается за счет дополнительного питания городом водоносных горизонтов и сокращения расходных статей водного баланса (поверхностного стока, испарения и подземного стока). Этому способствуют инфильтрация воды из искусственных водоемов; утечки воды из бассейнов, из подземных водоносных коммуникаций и резервуаров; спуск сточных вод в грунты, в овраги; поступление воды с полей фильтрации, неумеренные поливы улиц, дворов, зеленых насаждений, поступления техни-

ческих вод от предприятий с мокрым технологическим процессом, сокращение площади свободного испарения, конденсация влаги под зданиями, водонепроницаемыми покрытиями, насыпями в связи с нарушением естественного теплового обмена; магазинирование грунтовых вод, скопления поверхностных вод в местах плохой вертикальной планировки, снеговое питание в местах снежных свалок, засорение, выход из строя и малая эффективность дренажных систем и др.

С. К. Абрамов, Б. М. Дегтярев и Е. С. Дзекцер (1972) разделяют факторы подтопления промышленных и городских районов на естественные и искусственные, активные и пассивные, систематические, периодические и эпизодические.

К пассивным относятся факторы, которые не вызывают, но способствуют подтоплению. К естественным прямым относятся атмосферные осадки, подземные воды, пары воды в грунтах зоны аэрации, а к естественным косвенным — климат, геоморфологическое, геологическое строение, гидрогеологические условия и т. д. К систематическим факторам относится инфильтрация из водоемов; периодическим — инфильтрация производственных стоков, поливные воды; эпизодическим — аварийные утечки и т. п.

Нельзя сказать, что подтопление является непременным и обязательным спутником любого строительства, что этот процесс не контролируется зонально-климатическими и регионально-геологическими условиями и что он космополитичен. Хотя процесс подтопления пока еще слабо изучен, однако уже на данной стадии изученности можно утверждать, что он носит все же избирательный характер и не везде и не всегда может возникать и развиваться. Существуют естественные факторы и условия, способствующие и препятствующие развитию подтопления. Подтоплению способствует превышение приходных составляющих (А) и, наоборот, уменьшение расходных составляющих (В) балансового уравнения подземных вод замкнутого бассейна, т. е. когда

$$A > B \quad \text{или} \quad X + K + P > v + z + f,$$

где X — атмосферные осадки; K — конденсация водяных паров; P — приток вод из водоемов и других водоносных горизонтов; v — поверхностный сток; z — испарение; f — подземный сток.

Для развития подтопления неблагоприятны и малоблагоприятны условия Севера, заболоченные территории, где практически отсутствует зона аэрации, гористый, пересеченный, активно эрозионный рельеф, характеризующийся высоким дренирующим эффектом, наличие в геологическом разрезе верхнего покрова высокопроницаемых гравелисто-галечниковых грубозернистых и других хорошо фильтрующих грунтов значительной мощности, неводоносные скальные грунты, выходящие на поверхность, глубокое залегание подземных вод, закарстованные

массивы, активный гидродинамический режим подземных вод и др.

Подтоплению наиболее подвержены слабо дренируемые территории, расположенные на плоских водораздельных пространствах, на низменностях со слабо развитой эрозионной сетью. Эти территории сверху сложены мелкодисперсными грунтами с пониженными фильтрационными свойствами и слабой водоотдачей, с анизотропной водопроводимостью (лёссовые грунты, у которых вертикальная проницаемость выше горизонтальной), с неглубоким залеганием уровня подземных вод, с малым модулем подземного стока, с неглубоко залегающими региональными водоупорами, небольшим уклоном их кровли, с застойным гидродинамическим режимом. Подтоплению также подвержены районы современных тектонических опусканий и др. Подтопление стало наблюдаться в ряде регионов Советского Союза и принимать региональное распространение. К сожалению, региональные закономерности подтопления пока еще слабо изучены, однако назрела необходимость составления карты районирования территории СССР по условиям подтопления и аналогичных карт в более крупном масштабе по отдельным регионам страны. Подтопление городов активно стало проявляться в последние 30—40 лет, хотя оно имело место и раньше, но не было так широко распространено.

Развитие этого процесса коррелируется со скачком в урбанизации и индустриализации страны, с огромным размахом нового жилищного, промышленного, гидротехнического, транспортного и других видов строительства в городах, с расширением сети промышленных предприятий с мокрым технологическим процессом, с увеличением водопотребления, а следовательно и водосброса, с расширением сети подземных водонесущих коммуникаций, антропогенной гидрографической сети, с регулированием режима рек и т. д., и т. п.

Широко распространено псевдоподтопление, т. е. кажущееся подтопление. Такое подтопление обычно обосновывается массовыми фактами затопления подвалов зданий, траншей, многих других подземных сооружений.

В псевдоподтоплении обычно повинны изыскатели. При быстром бурении в глинистых слабофильтрующих грунтах появление воды можно и не заметить. В этом случае изыскатель фиксирует «безводные» условия и соответственно проектируются и строятся подвальные сооружения без дренажа и без гидроизоляционных устройств. А потом подвалы затопляются водой и фиксируется факт «подтопления». Чтобы убедиться в обводненности глинистых грунтов, нужно определенное время для наблюдений. Даже во вскрытых шурфах вода появляется не сразу, а спустя некоторое время. Причина этого — низкая водопроводимость и слабая водоотдача глинистых грунтов.

Вторая причина псевдоподтопления также связана с ошибкой изыскателя, который установил «безводные» условия там, где

уровень грунтовых вод был временно и причем обратимо снижен под влиянием антропогенных факторов (строительные откачки и др.). С прекращением действия данного антропогенного фактора сниженный уровень восстанавливается, в подвалах и подземных сооружениях появляется вода, что служит поводом утверждать, что здесь имеется подтопление.

Не всегда затопление подвалов служит показателем повышения уровня грунтовых вод. Уровень может и не измениться, а подвалы окажутся затопленными под влиянием других причин. В Ленинграде в последние 25—30 лет стало наблюдаться массовое затопление подвалов. В 1962 г. было учтено 900 затопленных подвалов. В Ленинграде дома с подвалами строили с тщательной гидроизоляцией, во многих домах применялась цинковая и свинцовая облицовки. Во время Великой Отечественной войны произошли массовые повреждения стен подвалов и гидроизоляции (трещины), в связи с чем в подвалы стала проникать вода. Это обстоятельство нельзя не учитывать при анализе причин подтопления и в других городах, пострадавших во время войны. Нельзя отрицать для Ленинграда и факта подтопления, вызванного утечками воды из подземных коммуникаций, которые во время войны также подверглись массовому разрушению. В Ленинграде небольшой подпор уровня грунтовых вод на величину 0,2—0,6 м, наблюдаемый вдоль некоторых набережных (р. Пряжка, канал Грибоедова, Крюков канал и др.), вызван барражирующим эффектом водонепроницаемых стенок набережных, засорением и повреждением застенных дренажей, кольматацией естественных берегов.

Имеет место упрощенное объяснение процесса подтопления, который связывается только с утечками технических и хозяйственных вод. Вместе с тем, как показали исследования ряда специалистов, подтопление наблюдается на объектах с «сухой» технологией, например на территориях элеваторов, складов, где отсутствуют утечки. Нужно всегда помнить, что подтопление — *полигенный, многофакторный процесс* и набор подтопляющих факторов и условий изменяется в зависимости от естественных зонально-климатических, регионально-геологических условий, от профиля, особенностей города, характера его промышленной зоны, производства, городского хозяйства и благоустройства.

В ряде научно-исследовательских институтов (ПНИИИС, ВОДГЕО, ВИОГЕМ и др.) разработаны и разрабатываются классификации территорий промплощадок по условиям подтопления: классификации Н. Ф. Лобановой, А. А. Колодяжной, С. К. Абрамова, Е. С. Дзекцера, З. П. Гавшиной, Б. М. Дегтярева и др. (см. Проблемы прогнозирования..., 1972). Аналогичную работу следует выполнять применительно к городам и поселкам городского типа.

Роль различных факторов подтопления неодинакова. К весьма значимым следует отнести инфильтрацию воды из водоемов с образованием зон подпора, массовые утечки воды из подземных

сетей водонесущих коммуникаций, утечки технологических вод на предприятиях с мокрым технологическим процессом, спуск в грунты сточных вод, ликвидацию естественных дрен, антропогенное ослабление поверхностного стока с переводом его в грунтовый, уменьшение площади испарения, конденсацию влаги под зданиями, сооружениями и насыпями, водонепроницаемыми покрытиями, оседание дневной поверхности, уменьшение пористости и водопроницаемости под зданиями и сооружениями, затруднение циркуляции подземного потока. Количественная роль указанных факторов — величина переменная, однако изучена она неудовлетворительно. Нужны балансовые исследования. Опираясь на данные полевых наблюдений, С. К. Абрамов, Б. М. Дегтярев и Е. С. Дзекцер (1972) полагают, что увеличение влажности глинистых грунтов за счет только термоградиентов составляет примерно 5—7%, вследствие нарушения природного сложения грунтов — 15—16, за счет конденсации паров воды — 5—10%.

Явления конденсации влаги под зданиями и сооружениями подтверждены рядом исследований (Н. Я. Денисов, И. Н. Круглов и др.). Изучение режима влажности лёссовых пород юго-востока Украины, выполненное в Институте оснований и фундаментов Госстроя СССР (И. Н. Круглов), показало, что под застройкой, где испарение влаги затруднено, влажность верхнего слоя лёссовых пород на 2—6% выше, чем на открытых площадках. С учетом невысокой естественной влажности исследованных лёссовых пород (8—27%), конденсационное увеличение влажности приобретает практическое значение, так как может усиливать просадочные явления в лёссах.

Конденсационное накопление влаги под зданиями подтверждено экспериментальными исследованиями, для которых было специально построено здание (один из районов Южной Африки). Наблюдения велись за изменением влажности, температуры и электропотенциала глин, залегающих в его основании. Опыты показали значительное увеличение влажности глин под экспериментальным зданием после его постройки. В накоплении влаги значительная роль принадлежит термоосмотическому и электроосмотическому градиентам (под зданием — вне здания), которые обусловливают движение воды. В Техасе установлено много случаев, когда сухие глины через несколько месяцев после возведения на них зданий становились насыщенными водой, причем в самое сухое время года. Это явление связано с всасывающей способностью глинистых пород, которая возрастает с уменьшением их влажности, температуры, внутрипорового давления и с увеличением удельной поверхности частиц породы. Движение влаги происходит в сторону пород с меньшей влажностью, меньшей температурой, меньшим давлением пара и с более высокой дисперсностью. Естественно, что процесс миграции влаги в покровных грунтах во многом зависит от климата местности и метеорологических особенностей сезонов года. Застройка изменяет есте-

ственный режим влажности грунтов в зоне аэрации. Происходит миграция водяных паров к экранирующим поверхностям, конденсация и последующая инфильтрация влаги в нижние слои грунтов.

Многие исследователи считают, что буквально под каждым зданием грунты имеют повышенную влажность. Режим тепловлагопереноса изменяется по сезонам года. Летом конденсирующаяся парообразная влага мигрирует сверху вниз к более холодным слоям, зимой — снизу вверх к охлажденной поверхности, с последующей инфильтрацией в нижние горизонты. В летнее время грунты около здания, обогретые лучистой энергией Солнца, имеют более высокую температуру, чем под его центром. Тепловлагоперенос направлен под здание.

В. И. Богданов и Р. А. Смирнов (1972) приводят ряд интересных данных о тепловлагопереносе в городских условиях. По наблюдениям Е. М. Рыжкова, летом в Волгограде под центральными частями зданий на глубине 3 м температура равнялась 14—18° С, а у наружных стен на той же глубине — 21—22° С. При таком температурном перепаде влага направлена в сторону строений, где и повышается влажность грунтов (боковой приток). По данным А. К. Агошкова, влажность грунтов под аэродромными покрытиями в 2—3 раза превышает естественную в связи с конденсацией.

Наличие цементного пола в зданиях способствует конденсационному накоплению влаги. Это подтверждено данными А. А. Соколова по Новосибирску об изменении влажности по глубине. Влажность возрастала снизу вверх на глубине 5 м от 10 до 11,8%, на глубине 4 м от 11,6 до 12,8%, на глубине 3 и 1,5 м от 11 до14,7%.

Подтопление городских территорий все более расширяется, что, по-видимому, связано с расширением спектра антропогенных факторов и ростом интенсивности их воздействия на режим грунтовых вод и влажностной режим зоны аэрации.

Подтопление к настоящему времени, по данным автора, захватило десятки городов СССР, причем преимущественно крупных и индустриальных, чаще всего расположенных в южных районах страны и в регионах с распространением покрова лёссовых грунтов.

Величина подтопления застроенных городских территорий колеблется в пределах от 0,5 до 30 *м* (сюда не входит повышение уровня в связи с подпором рек, устройством водохранилищ), но чаще составляет 3—15 м. Максимальные повышения уровней грунтовых вод отмечены в Запорожье (30 м), Ростове-на-Дону (20 м), Каменецк-Подольском (17 м), Одессе (10—15 м), Кривом Роге (18 м), Новочеркасске (12 м), Никополе (10 м), Челябинске (12 м), Херсоне (10 м), Сумгаите (8 м), Навои (6 м), Саратове (8 м), Баку (6 м), Москве (6 м), Киеве (5 м), Мелитополе (7 м), Ташкенте (4 м) (Котлов, 1976б).

На застроенной территории городов подтопление развито неравномерно, оно больше под зданиями, сооружениями, насыпями, дорогами, в местах прохождения водонесущих коммуникаций, на поливных площадях, в зоне влияния подпора и т. п.

В некоторых городах повышение горизонта грунтовых вод носит не локальный, а крупноплощадной и региональный характер. В Ташкенте региональный характер повышения уровня грунтовых вод связан с инфильтрацией воды из многочисленных оросительных каналов и арыков, поливных площадей и с процессом конденсации грунтовой влаги. По данным А. М. Худайбергенова (1970), на территории Ташкента суммарное протяжение магистральных, распределительных каналов и мелкой арычной сети превышает 2000 км. Среднегодовой расход воды на инфильтрацию из каналов и орошаемых полей составляет около 300 млн. м^3. что эквивалентно равномерно распределенному слою инфильтрующейся воды по площади города (16 тыс. га — 1965 г.), равному 1831 мм, и что в 5 раз превышает среднегодовое количество атмосферных осадков (360 мм). В климатических условиях Ташкента, где испарение превышает сумму атмосферных осадков, приобретает существенное значение процесс конденсации влаги под зданиями, сооружениями и искусственными водонепроницаемыми покрытиями, которые значительно сокращают площадь свободного испарения.

На территории УССР подтопление приняло региональный характер и за последние 15—20 лет захватило 70—75% территории южных городов. Антропогенный процесс повышения уровня грунтовых вод чаще всего приурочен к бугскому и днепровскому водоносным горизонтам, близко залегающим к поверхности земли (3—15 м; Гончар, 1971).

В Одессе наблюдается процесс длительного крупноплощадного повышения уровня четвертичного водоносного горизонта на величину от 1 до 10 и редко 15 м, вызванный массовыми утечками воды из подземных сетей водопровода, канализации (до 25 тыс м^3 в сутки), поливами, сбросом сточных вод, конденсацией паров и пр. С этим связано массовое затопление подвалов, мин и погребов, заболачивание, просадки лёссовых грунтов, завалы мин, провалы поверхности, неравномерные осадки и деформации зданий и сооружений и другие явления. По данным А. А. Грызы (1973), основной причиной подтопления территории Одессы является увеличение инфильтрации с 1,5 млн. м^3/год в естественных условиях до 64,1 млн. м^3/год в условиях застройки (более чем в 40 раз). Балансовые исследования показали, что увеличение инфильтрации на застроенной территории вызвано главным образом утечками воды из водопровода (27% от водоподачи) и канализации (13% от поступающего количества воды). Другие факторы, по мнению А. А. Грызы, играют подчиненную роль. В Одессе сильно изношена давно построенная подземная сеть водопровода (1870 г.) и канализации, обновление ее отставало, что и

активировало утечки. Р. А. Смирнов и В. И. Богданов (1972), исследуя кинетику подтопления Одессы во времени и пользуясь уравнением И. Б. Корсунской и В. Т. Черповалова, сделали прогнозный и ретроспективный расчет повышения уровня грунтовых вод в лёссовом горизонте по формуле:

$$h_t = \frac{m\,[h_{\text{ест}}\,\mu + (W-K)\cdot t] + H_0 K t}{m\mu + Kt},$$

где h_t — подъем уровня грунтовых вод за время t, м; m — мощность водоупора, м; $h_{\text{ест}}$ — мощность грунтовых вод до застройки территории, м; μ — недостаток насыщения грунтов зоны аэрации; W — инфильтрация, м/сут; K — коэффициент фильтрации водоупора, м/сут; t — время, для которого производится прогноз уровня грунтовых вод, сут; H_0 — начальный напор, м.

Р. А. Смирнов и В. И. Богданов рассчитали среднее повышение уровня со времени окончания строительства первой очереди водопровода (1870 г.), с которым связывается появление грунтовых вод в лёссовой толще. По расчетам, среднее повышение с 1870 по 1970 г. составило 12,1 м и, по прогнозу, через 50 лет уровень поднимется лишь на 0,12 м.

Следует иметь в виду, что в условиях Одессы в подтоплении территории города играют роль не только утечки из водопровода, но и другие факторы, в связи с этим расчеты указанных авторов следует считать неполными.

На территории Баку также наблюдается крупноплощадное повышение уровня грунтовых вод на величину от 0,5 до 6 м. Подтопление подтверждено сопоставлением гидрогеологических карт 1950 и 1969 гг. и стационарными наблюдениями в режимных скважинах. Повышение уровня грунтовых вод вызвало затопление подвалов (в 1968 г. в Баку насчитывалось 3818 затопленных подвалов). Некоторые здания в связи с этим деформируются (Котлов, 1976б). В районе г. Алибайрамлы под влиянием законтурного обводнения нефтяных пластов поднялся уровень грунтовых вод, произошло обводнение неводостойких отложений грязевого вулкана (грязевой брекчии), что привело к деформации и выводу из строя ряда одно- и трехэтажных зданий (Т. У. Багиров). С подтоплением связан процесс антропогенного заболачивания территорий, который отмечен в ряде городов СССР с близким залеганием к поверхности земли горизонта грунтовых вод (Архангельск, Тюмень, Вильнюс, Рига, Таллин, Ленинград, Минск, Киев, Горький, Баку и др.).

В Самарканде под влиянием подтопления окружающей территории уровень грунтовых вод приблизился к фундаментам и подвалам знаменитого мавзолея Тимура (Гур-Эмир) — исторического памятника XIV—XV вв., охраняемого государством, появилась сырость и возникла угроза затопления этого уникального сооружения. Осуществление дренажных мероприятий предотвратило затопление.

Из антропогенных геологических процессов, связанных с повышением уровня подземных вод, наиболее широко развиты просадки и набухание грунтов.

Просадки лёссовых грунтов

Просадка лёссовых грунтов, вызванная искусственным обводнением,— в значительной мере антропогенный процесс, причем весьма широко распространенный. Лёссовые грунты встречаются на всех континентах. Наиболее широко они распространены в Европе, Азии, Северной и Южной Америке. Площадь лёссовых грунтов в СССР достигает 3,3 млн. км², что составляет около 14% территории страны.

Просадочные явления широко развиты в районах сплошного распространения лёссовых грунтов (Украина, Юг и Центр Европейской части СССР, Западно-Сибирская равнина, Средняя Азия, Южный Казахстан и др.). В УССР лёссовые грунты занимают площадь 380 тыс. км² — 63% территории, в Средней Азии и южном Казахстане — 25% территорий. Менее развиты просадки в районах островного распространения лёссовых грунтов (Белоруссия, северная часть УССР, Смоленская, Московская, Горьковская области, Башкирская АССР, Север Прикаспия и др.). Просадки широко распространены в промышленных районах и в районах ирригации, что вызвано тем, что просадочные лёссовые грунты в наибольшей степени подвержены замачиванию и дополнительной статической нагрузке. Просадки в городах наносят огромный ущерб народному хозяйству. Повреждения зданий и сооружений наблюдаются во многих крупных городах СССР (рис. 12). В одном только г. Запорожье деформировано от просадок более 900 зданий. В связи с просадками лёссовых грунтов проседание поверхности земли, зданий и сооружений изменяется в широких пределах, от 0,1 до 2,5—3 м. В Самаркандском районе проседание достигает 2 м, в Голодной степи — 0,6, в Приташкентском районе — 2,5—3, в Терско-Кумском районе — 2,5, в районе Среднего Днепра — 1,5—2, Северского Донца — 1,5 м и т. д. Большие просадки, до 1,5—2 м, наблюдаются вдоль оросительных каналов на расстоянии до 40—60 м по обе стороны от бровки. В ряде городов просадки деформируют уникальные здания и сооружения, как, например, знаменитый оперный театр в Одессе, здания Киево-Печорской Лавры и многие другие (Котлов, 1970в, 1974).

С просадками лёссовых грунтов связано развитие ряда нежелательных геологических процессов: оползней, оплывин, плывунов, лёссового псевдокарста, эрозии и др. Строительство на просадочных грунтах в СССР нормируется СНиП II-15-74. Применяется три группы инженерных мероприятий по борьбе с просадками:

1. Мероприятия по предохранению просадочных грунтов от увлажнения.

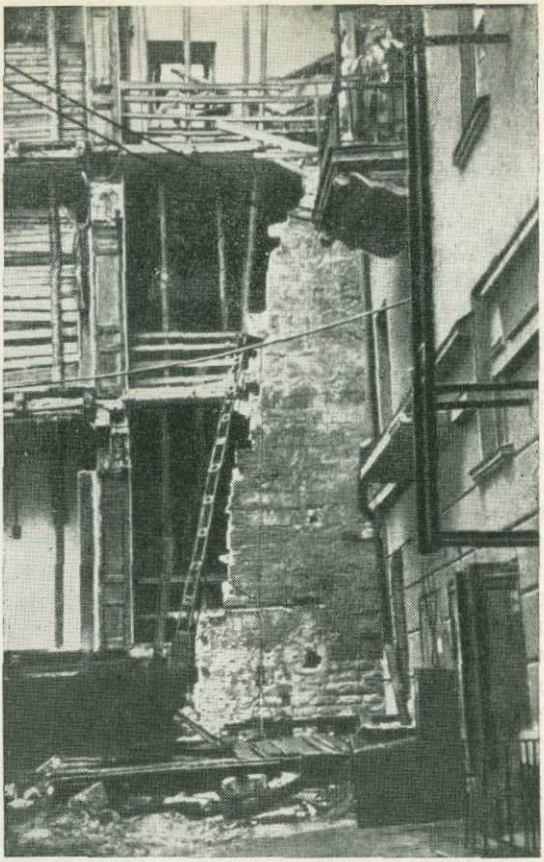


Рис. 12. Деформированный и частично разобранный жилой дом, расположенный на просадочных грунтах, г. Одесса

2. Мероприятия по устранению просадочных свойств грунтов.
3. Адаптация (приспособление) сооружений к деформации грунтов.

Набухание грунтов, поднятие поверхности и сооружений

Во многих городах мира, где распространены набухающие глинистые грунты, наблюдаются объемные деформации грунтов, поднятие легких зданий и сооружений, появление трещин, выпор полов; образование оползней на склонах, явления пучения в карьерах и подземных выработках и др. Эти явления широко распространены в Южной и Центральной Африке, в южных областях Англии, в США, Бирме, на Кубе и других странах и чаще носят антропогенный характер. В СССР набухающие грунты ши-

роко распространены в городах южных районов страны (Крым, Закавказье, Предкавказье, Молдавия, Апшеронский полуостров, равнинный Дагестан, Среднее и Нижнее Поволжье, Центральный Казахстан, юго-западная часть Западно-Сибирской равнины и др.). Чаще набухающие грунты распространены в зонах сухих степей и полупустынь. Набухание наблюдается в глинистых грунтах различных генетических типов (морских, озерных, речных, делювиальных и др.), для которых характерны высокая дисперсность, наличие монтмориллонитовых минералов, органического вещества, обменного натрия и магния, большая емкость ионного обмена, гидрофильность, высокая пластичность, слабая прочность структурных связей, незасоленность, дегидратированное и уплотненное состояние и т. п.

Весьма склонны к набуханию юрские, майкопские, хвалынские («шоколадные»), сарматские, киевские, аральские и другие глины. Даже некоторые разности лёссовых грунтов обладают набухаемостью (Ананьев и др., 1972).

Величина объемного набухания изменяется от 1 до 45%, чаще составляет 5—20%. Набухание грунтов с нарушенной структурой (антропогенные глинистые грунты) может увеличиваться в 2—3 раза и более.

Показатели прочностных свойств в связи с набуханием уменьшаются в несколько раз. Давление набухания изменяется в пределах от 0,1 до 10 кгс/см² и более, чаще составляет 1—4 кгс/см². При значительном давлении набухания поднимается поверхность земли, легкие одно- и двухэтажные здания, насыпи, мосты, аэродромные покрытия, уличные проезды, железные и автомобильные дороги и пр. Подъем может достигать 10 см и более. При набухании действуют также силы горизонтальных напряжений. Наблюдается цикличность поднятий и опусканий (усадка), связанная с колебаниями уровня грунтовых вод, с циклами атмосферных осадков.

В связи с подтоплением и другими видами искусственного увлажнения набухающих грунтов в ряде городов СССР наблюдаются деформации зданий и сооружений (Керчь, Краснодар, Ростов-на-Дону, Таганрог, Волгоград, Элиста, Новочеркасск, Баку, Стерлитамак, Днепропетровск и др.).

По данным Б. А. Калашникова, М. И. Черкасова и Е. П. Рословой (1972), в пос. Черноморском Краснодарского края из 550 обследованных одно- и двухэтажных зданий, расположенных на набухающих глинистых грунтах II и III надпойменных террас р. Кубани, 210 имели деформации в виде сквозных трещин размером до нескольких сантиметров, раскрывающихся у кровли. Стационарными трехлетними наблюдениями за 11 опытными домами установлены сезонные, в течение года неравномерные подъемы и опускания отдельных частей здания на величину до 25—30 мм. В Волгограде в связи с набуханием хвалынских глин на склонах формируются оползни.

В качестве мер предупреждения и борьбы с деформациями *применяются увеличение давления на грунты основания*, устройство широких отмосток, поддержание повышенной влажности грунта, применение ячеистых фундаментов, компенсирующих подушек, удаление набухающих грунтов в котлованах, заглубление фундамента ниже подошвы набухающих грунтов, применение специальных свай, железобетонных поясов, электрохимическое закрепление и другие способы.

АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЕМ ФИЛЬТРАЦИОННО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Перечень процессов и явлений, связанных с нарушениями гидродинамического режима водоносных горизонтов, приведен в *табл. 2*.

В качестве антропогенных гидродинамических факторов обычно выступают гидростатические напоры, гидравлические уклоны, гидродинамическое давление и напорная фильтрация.

Все перечисленные выше процессы и явления в той или иной степени развиты на территории городов, где изменен гидродинамический режим подземных вод.

Антропогенная механическая суффозия, т. е. вынос твердых частиц, имеет место при вскрытии водоносных горизонтов искусственными выемками, при водоотливе из котлованов, карьеров, траншей и других выемок, при откачках подземных вод из скважин и иглофильтров, при дренировании вод стационарными дренажами и глубокими депрессионными воронками.

Автором были выполнены экспериментальные исследования процесса механической суффозии при откачках подземных вод в различных условиях.

Объектами исследований были откачки грунтовых вод, производимые из системы Замоскворецкого дренажа Москвы, и откачки из системы иглофильтровых установок в разных районах Москвы. Подробно результаты опытов были освещены ранее (Котлов, 1962).

При проведении опытов было отобрано 210 проб грунтовых вод при разных режимах откачки, выполнены комплексные лабораторные исследования химического состава воды, количества суффозионных осадков, их гранулометрического, химического и минерального состава. Замоскворецкий дренаж в Москве был построен в связи с повышением уровня р. Москвы и для защиты территории от подтопления. За 23 года работы, с 1937 по 1960 г., *средний вынос* частиц составил, по ориентировочным подсчетам автора, 20366 т, или 10710 м^3, минерального вещества, что эквивалентно слою в 2,1 мм. Исследования суффозии при откачках из иглофильтров подтвердили наличие выноса минеральных частиц в количествах от 1,5 до 8000 мг/га, в зависимости от лито-

логического строения, фильтрационных свойств водовмещающих *толщ и режима откачек.*

Таким образом, мнение о том, что механической суффозии не происходит при откачках подземных вод из скважин, оборудованных фильтрами, не соответствует действительности. В очень небольших количествах вынос тонких минеральных частиц происходит при откачках трещинных вод из артезианских скважин за счет вымывания рыхлого заполнителя трещин и карстовых пустот (*декольматация*).

Механическая суффозия интенсивнее проявляется при открытом водоотливе из подземных выработок.

Декольматация трещиноватых пород, процессы карстово-суффозионного оседания и провалов наблюдаются при больших водоотборах, при образовании глубоких и крутых депрессий, при наличии значительных градиентов напора, увеличении скоростей *фильтрации, при вертикальных перетоках вод* (Казань, Дзержинск, Москва и др.). Прорывы вод и плывунов обычно приурочены к подземному строительству в городах. Эти явления наблюдались при проходке Московского, Киевского, Ленинградского, Бакинского и Ташкентского метрополитенов. Подробнее эти явления будут охарактеризованы ниже в соответствующем разделе.

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯМИ ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Города в сильной степени изменяют химический состав и загрязняют подземную гидросферу. Следуя учению академика В. И. Вернадского о круговороте воды в природе, следует признать, что загрязнение подземной гидросферы начинается с загрязнения атмосферы, поверхностной гидросферы, поверхности городов (свалки, культурный слой и пр.), почв и самих недр земли, в которых циркулируют подземные воды (сбросы промышленных стоков и т. п.). В городах под влиянием внешних химических воздействий формируются химические аномалии в подземной гидросфере, занимающие иногда большую площадь (десятки и сотни *квадратных километров) и проникающие на значительную* глубину (несколько сотен метров).

В Москве, в связи с нарушением гидродинамического режима под влиянием вертикальных перетоков подземных вод через литологические окна и региональные водоупоры, сформировались гидрохимические аномалии на глубину до 300 м. Установлен перенос солей сверху вниз в направлении от горизонтов грунтовых *вод к верхнему, среднему и нижнему карбону* (рис. 13; табл. 3).

Зафиксирован и восходящий перенос солей из девонского горизонта сильно минерализованных вод в нижнекаменноугольный горизонт в связи с изменившимися градиентами напора. Подземная гидросфера городов изменяется в следующих направлениях:

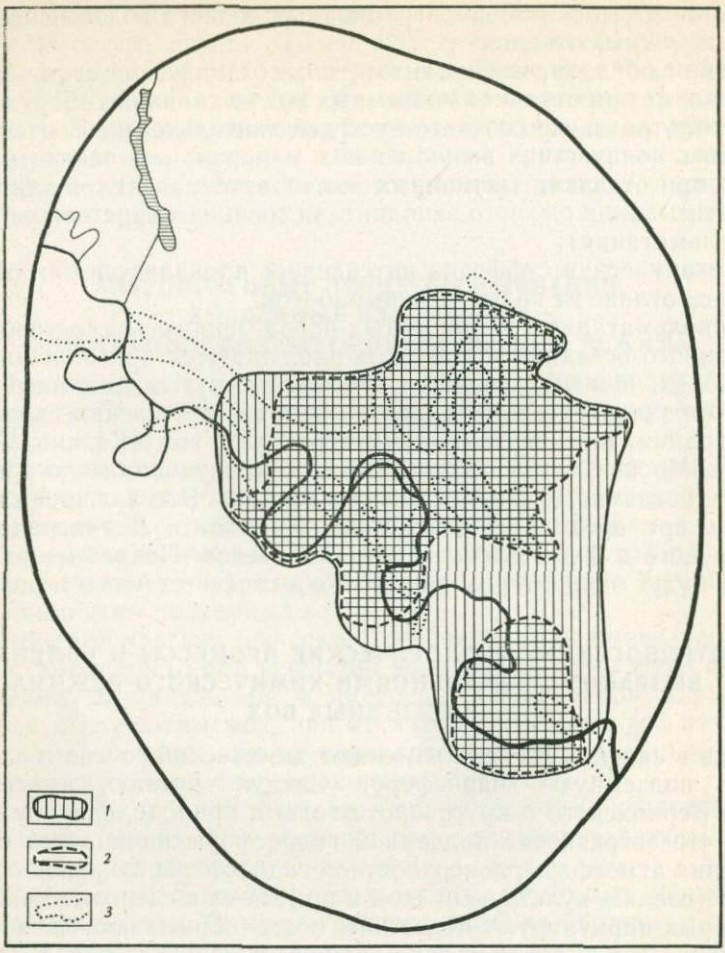


Рис. 13. Гидрохимическая аномалия мячковско-подольского водоносного горизонта в районе Москвы (по В. И. Просенкову, 1974)

1 — площадь аномалии по состоянию на 1960 г.; *2* — площадь аномалии по состоянию на 1970 г.; *3* — долина доледникового размыва

повышение минерализации (накопление водорастворимых солей), понижение минерализации (опресняющее воздействие поверхностных водоемов, утечек водопроводных вод и пр.), увеличение пестроты химического состава, загрязнение вод, особенно *верхних водоносных горизонтов, повышение агрессивности в связи* с увеличением содержания в составе вод CO_2, SO_4, Mg, понижением pH и др.

С указанными выше химическими изменениями подземных вод возрастают их геологическая деятельность и роль в формирова-

Таблица 3

Характеристика гидрохимической аномалии района Москвы
(по В. И. Просенкову, 1974)

Водоносный комплекс	Площадь аномалии, км²	Общая минерализация, г/л		Превышение средней по площади минерализации над фоновой, г/л
		максимальная / минимальная	средняя по площади	
Четвертично-мезозойский	765	12,00 / 0,30	0,73	0,43
Верхнекаменноугольный	80	0,80 / 0,30	0,55	0,25
Среднекаменноугольный	149	2,0 / 0,30	0,60	0,30
Протвинско-серпуховско-окский	180	1,30 / 0,37	0,60	0,23

нии таких антропогенных гидрогеохимических процессов, как химическая суффозия и антропогенный карст, засоление и цементирование грунтов, осмотическое сжатие и разуплотнение грунтов и др.

Антропогенный карст

Антропогенный карст в отличие от природного имеет генезис, связанный с деятельностью человека, большие скорости развития процесса, высокую интенсивность; меньшую площадь проявления процесса, возможность развиваться там, где раньше карст не проявлялся. Антропогенный карст — более управляемый процесс, чем природный карст.

Антропогенные карстообразующие факторы перечислены ниже.

1. Подземное растворение пород в целях добычи полезных ископаемых. Некоторые твердые полезные ископаемые (каменная соль, калийные соли, сода, медь, золото и др.) в результате нагнетания растворителей (воды, кислот и щелочей) переводятся в раствор и извлекаются подъемными устройствами из недр земли. Этот способ широко применяется в практике горнодобывающей промышленности СССР и за рубежом. Химические методы добычи полезных ископаемых начинают вытеснять механические способы. При подземном растворении происходит образование пустот и крупных полостей, обрушение и сдвижение вышележащих пород, образование провальных воронок, трещин и мульд проседания на поверхности земли.

2. Подземное выщелачивание легко растворимых пород в целях создания искусственных полостей для подземного хранения

нефти, бензина, газов и пр. Этот способ широко применяется в США.

3. Откачка природных рассолов в целях добычи соли и замещение рассолов более пресными и агрессивными водами, притекающими в очаги разгрузки из смежных районов.

4. Напорная фильтрация из водохранилищ, прудов и каналов; изменение гидрохимических и гидродинамических условий в районах, прилегающих к искусственным водоемам.

5. Длительные интенсивные откачки подземных вод, сопровождаемые резким изменением режима фильтрации и их химического состава.

6. Общее повышение агрессивности подземных вод в городах и промышленных центрах, вызванное антропогенным изменением химического состава атмосферы, поверхностной гидросферы, почв и покровных грунтов.

7. Сброс агрессивных сточных вод в карстующиеся породы.

Развитие и распространение антропогенного карста контролируется распространением, условиями залегания и состоянием карстующихся пород и характером воздействий человека на природную обстановку.

Активный антропогенный карст чаще совмещается с природным соляным карстом. Если учесть, что в СССР площадь, занятая соляными породами и ископаемыми солями, обнаженными на поверхности или погребенными, ориентировочно составляет более 3,5 млн. км^2, можно себе представить, какие существуют широкие возможности развития антропогенного карста.

Антропогенный карст проявляется в образовании внутри массива полостей различных размеров, в обрушении вышележащих пород, развитии на поверхности земли карстовых воронок, озер, долин и мульд проседания. Антропогенный карст широко известен в США, Англии, Австрии, ГДР, Чехословакии, Югославии, Польше и в других странах мира.

В Англии, в районе Центрального Чешира, под влиянием длительных откачек рассолов и растворения каменной соли образовались понижения в рельефе в виде корытообразных долин протяжением 0,4—0,8 км с террасами на бортах.

В СССР антропогенный карст развит в Предуральском краевом прогибе (Соликамск, Красный Яр и др.), в Прикаспийской впадине (Чапчаги), в Бахмутской котловине (Артемовск, Славянск, Новый Карфаген и др.), в Верхне-Тиссенской котловине (Солотвино) и др. Наиболее ярко в рельефе антропогенный карст проявился на территории г. Новый Карфаген, где под влиянием подземного выщелачивания каменной соли произошло сдвижение пород в массиве, сформировалась большая мульда проседания поверхности земли глубиной более 700 см и серия провальных воронок. На территории г. Славянска образовались карстовые воронки диаметром 15—45 м, глубиной 4—9 м, карстовые озера, мульда проседания на площади 100 га с максимальным радиусом

1350 м, региональные трещины разрыва пород на поверхности земли протяжением 2 км и шириной по верху до 18 см.

С антропогенным карстом связаны массовые деформации зданий и сооружений. В районе Северо-Уральского месторождения бокситов под влиянием антропогенного карста на поверхности земли сформировался специфический микрорельеф, представленный множеством карстово-суффозионных воронок и ложбин.

Карст нередко сочетается с суффозией, когда на карстующихся породах залегают песчано-глинистые отложения. При вертикальной фильтрации происходят утечки песка в карстовые полости, в толще песков образуются конусы разуплотнения, а на поверхности — карстово-суффозионные воронки, появление которых иногда сопровождается разрушением зданий.

Широко развит в городах аридного климата процесс, противоположный выщелачиванию грунтов,— процесс их засоления и цементирования.

Засоление и солевая цементация грунтов обусловлены применением солевой мелиорации грунтов, увеличением минерализации подземных вод в связи с повышением их уровня и интенсивного испарения в зоне аридного климата, инфильтрационным привносом солей из культурного слоя, свалок, удобряемых почв, хвостохранилищ, горнопромышленных отвалов, сбросом промышленных стоков, нефтяных вод, утечками сточных вод, замещением пресных вод солеными водами морей и океанов под влиянием длительных откачек и водопонижения горизонтов пресных вод на прибрежных территориях, внедрением сильно минерализованных вод из напорных выше- или нижележащих горизонтов в горизонты меньшего давления и меньшей концентрации при вертикальной фильтрации и диффузии (Москва и другие города СССР), закачкой соленых морских вод в депрессии пресных вод для создания противодавления и борьбы с опусканием земной поверхности (Япония, Мексика и др.).

Засоление грунтов в городах регионов ирригации — довольно распространенное явление, особенно в городах Средней Азии, Казахстана. С засолением грунтов и вод иногда связана гибель флоры.

Весьма опасна для водоснабжения современных городов инверсия соленых вод морей и океанов, вызванная интенсивной откачкой пресных вод в прибрежных городах (ФРГ, Нидерланды, США, Япония, Англия и другие страны).

В СССР подсасывание соленых вод в связи с образованием депрессионных поверхностей наблюдается в ряде городов (Керчь, Феодосия и др.).

Для предотвращения указанных последствий необходимо рационально регулировать водоотбор пресных вод.

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ СТАТИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

Возникающая на городских территориях довольно весомая и разнообразная застройка оказывает уплотняющее воздействие на подстилающие грунты, вызывая явления осадок, а иногда и гравитационного выпора пород основания при применении нагрузок, превышающих силы сопротивления грунтов сжатию и сдвигу. Вес зданий и сооружений в городах мира к 1964 г. по ориентировочным данным составлял 22 350 млн. т (Хазанов, 1974). Например, в Англии, по статистике 1913 г., дома весили 500 млн. т. Удельные давления от веса зданий, сооружений, насыпей, отвалов и пр. в современных городах колеблются от 0,1 до 20 кгс/см^2 и более. В XIX и XX вв. увеличивались строительство из камня, этажность зданий, применение все более и более тяжелых конструкций. Удельные нагрузки в городах постепенно нарастали. До изобретения лифта здания в городах не превышали пяти этажей. В связи с дефицитом городских земель стали появляться высотные дома (до 40 этажей) и небоскребы (от 40 до 110 этажей и более).

Начало высотному строительству в США было положено сооружением в 1885 г. в г. Чикаго 10—12-этажных зданий. В настоящее время в Нью-Йорке насчитывается более 30 зданий, имеющих свыше 40 этажей. Наиболее высокие — построенное в 1931 г. 102-этажное здание Эмпайр-стейт-билдинг (высотой около 380 м, вместе с телевизионной башней 442 м) и 77-этажный дом Крейслер-билдинг. Увеличивается не только этажность, укрупняются размеры зданий. В ряде стран построены дома протяжением в 1000 м.

В дореволюционной России более 80% городской застройки было малоэтажной и в основном деревянной. Нагрузки преобладали небольшие—до 0,5—1,5 кгс/см^2. По данным переписи 1959 г., городской жилой фонд по этажности зданий составил: одноэтажных — 61%, двухэтажных — 20, трехэтажных — 6, четырехэтажных — 5, пятиэтажных и выше — 8%. К настоящему времени этажность городских зданий в СССР возросла. Городская застройка в связи с быстрым ростом малоэтажного строительства в ряде городов растянулась на 40—50 км и более (Волгоград, Пермь и др.), что ухудшило планировочную структуру и повысило стоимость инженерного оборудования города.

Во многих крупных городах одно-двухэтажная застройка занимает до 70—80% территории жилых кварталов. Плотность жилого фонда (брутто) составляет в среднем 550—700 м^2/га.

В городском строительстве почти всех стран выделяются три типа застройки: индивидуальные дома в один или два этажа,

многоквартирные дома в два-пять этажей и многоэтажные дома в 9—12 и 16 этажей с лифтом. В социалистических странах преобладающий тип городской застройки — жилые дома в три-пять этажей. В СССР признано неэкономичным строить в городах дома менее пяти этажей, увеличивается объем многоэтажного строительства (9—12 и 16) в крупных городах, где ощущается недостаток свободной площади и где освоение новых территорий требует значительных затрат на инженерное оборудование, благоустройство и транспорт.

В целях разнообразия вертикального силуэта современных городов применяется смешанная застройка в 5—16 и более этажей. Это позволяет с наибольшей эффективностью осуществлять рациональную и экономически выгодную посадку зданий на местности, выбирая для высоких и тяжелых зданий с большими статическими нагрузками наиболее благоприятные в инженерно-геологическом отношении строительные площадки. С развитием современного строительства и с повышением этажности зданий растут статические нагрузки на грунты оснований.

В городской застройке постепенно сокращается доля деревянных строений. По данным Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР на 1 января 1970 г., кирпичные и каменные жилые дома составляли 61%, деревянные — 30,5, из прочих материалов — 8,5% жилого фонда.

В современном градостроительстве столкнулись две строительные тенденции: повышения этажности и в связи с этим увеличения статических нагрузок и снижения веса зданий и сооружений и соответственно снижения нагрузок на грунты основания.

В последние годы в связи с научно-техническим прогрессом в производстве строительных материалов расширилось применение пластмасс, гипсошлаковых, гипсоволокнистых плит, минеральной ваты, пустотелого крупнопористого кирпича, стекла, алюминия, шлакобетона, керамзитобетона и других материалов облегченного удельного веса, а также применение новых конструкций меньшего веса (прокатные панели, легкие утеплители и др.), что позволило уменьшить вес многих зданий и сооружений в 1,5—2 раза и более.

По прогнозу ученых, при широком применении в градостроительстве полимеров вес зданий и сооружений может уменьшиться в 30 раз. Уменьшение веса построек открывает перспективу более широкого и экономичного использования грунтов как естественных оснований, уменьшения осадок зданий и сооружений. Затраты на техническую мелиорацию грунтов, искусственное усиление оснований в связи с этим сократятся. С другой стороны, повышение этажности и габаритов зданий увеличивает статические нагрузки на грунты. Какая из указанных двух тенденций опередит и будет главенствовать, покажет будущее. Необходимо отметить, что в СССР не предусматривается строительство гигантов-небоскребов, так как они создают много неудобств, ухуд-

шают санитарно-гигиенические условия города, отдаляют человека от природы, не обогащают, а обедняют город как среду обитания человека. В СССР пока не построено ни одного небоскреба (здания более 40 этажей). В ряде городов СССР все чаще и чаще воздвигаются высотные здания от 20 до 40 этажей. В Москве в 1947—1952 гг. было построено семь высотных зданий с количеством этажей от 16 до 32, среди них самым большим и высоким было здание Московского университета на Ленинских горах общим объемом 2 млн. м^3 и высотой (без эмблемы) 180 м. Позднее были воздвигнуты 27-этажное здание Гидропроекта, 30-этажное здание СЭВа, 23-этажное здание гостиницы «Националь» и др. Самое высокое сооружение в Москве — знаменитая Останкинская телевизионная башня высотой 533,3 м.

Технический прогресс в строительной индустрии позволил резко сократить сроки строительства. Если раньше строительство крупных городских сооружений рассчитывалось на несколько лет, а отдельные уникальные сооружения строились в течение десятилетий, то теперь при применении индустриальных методов строительства, когда дома на 90% собираются из заранее изготовленных конструкций и деталей, возведение одно-двухэтажных домов можно закончить в течение нескольких дней, а многоэтажных домов — за несколько недель или месяцев. В Москве известны факты, когда пятиэтажные четырехсекционные дома монтируются за 24 дня, десятиэтажные — за 55 дней. Медленное строительство — это медленное и постепенное приложение к породам основания статических нагрузок, быстрое строительство — это быстрое приложение нагрузок. Динамика развития осадок в связных породах будет различной. При быстром строительстве стабилизация связных пород и равновесие между внешним давлением и реактивным сопротивлением породы будет еще более запаздывать и отодвигаться, что занизит осадку в период строительства и увеличит ее в период эксплуатации сооружения.

Изменения свойств пород, вызванные статическими нагрузками от веса городской застройки, представляют собой антропогенную фазу метагенеза (эпигенеза) осадочных пород. Породы оснований под длительным действием статических нагрузок изменяют свою структуру и некоторые физико-механические свойства чаще всего в следующих направлениях:

увеличиваются объемный вес, степень плотности, показатель уплотненности, коэффициент дегидратированности, модуль деформации, степень сжатия, угол трения, сцепление;

уменьшаются влажность, пористость, коэффициент пористости, модуль осадки, показатель консистенции, коэффициент уплотнения и др.

В зависимости от местных инженерно-геологических условий и воздействий не исключены другие вариации, в частности увеличение влажности мелкодисперсных грунтов под зданиями в связи с конденсацией.

Исследования монолитов, отобранных из-под подошвы фундаментов и рядом, вне зоны влияния здания и сооружения, позволили выяснить количественную сторону антропогенных метагенетических изменений свойств пород. Они описаны в ряде работ автора (1962, 1967). Уплотняющее воздействие на грунты городской застройки позволяет повышать этажность зданий и производить надстройку дополнительных этажей без искусственного усиления оснований и фундаментов, увеличивая существующую нагрузку на грунты в пределах до 20—30%.

В результате уплотнения пород около каждого здания и сооружения образуется осадочная депрессия или воронка, глубина которой в зависимости от величины давления и сопротивляемости пород нагрузке колеблется в пределах от 5 до 600 см и более. Радиус воронки обычно выходит за пределы наружного периметра здания и зависит от характера эпюры напряжений в сжимаемой толще пород. Мощность сжимаемой зоны зависит от состава, состояния и свойств пород, величины нагрузок, от площади, формы и глубины заложения фундаментов и обычно в городах достигает 30 и 50 м, однако чаще составляет 10—15 м. Так, например, в основании высотных зданий в Москве она колеблется в пределах от 15 до 30 м. В Москве вокруг недавно выстроенных (1949—1952) высотных зданий формируются осадочные воронки в песчаных и глинистых породах, внешний край которых удаляется от периметра зданий на расстояние 50—120 м и более. При плотной застройке одиночные осадочные воронки смыкаются, и под городом в целом формируется крупноплощадная депрессионная поверхность в виде чаши оседания сотообразного строения, включающая множество одиночных и совмещенных воронок разного диаметра и глубины. Величина осадок зависит от прочности пород и величины внешней нагрузки и изменяется от нескольких миллиметров до 6 м и более. Чаще она исчисляется сантиметрами (10—20 см), реже — дециметрами и очень редко — метрами. Имеются случаи уникальных осадок. В г. Мехико осадка Дворца изящных искусств достигла 4,8 м (в основании — сильно сжимаемые бентонитовые, гидрофильные глины). Здание Национального театра Мехико осело на 3 м, и осадка продолжается на 12,8 см в год. Большие осадки, исчисляемые метрами, наблюдались в СССР у некоторых земляных сооружений, построенных на сильно сжимаемых грунтах (морские илы, торф, сапропели). Например, при устройстве искусственных оснований морских нефтепромысловых сооружений на рыхлых морских илах в акватории Каспийского моря осадка достигала 6 м и более. Осадка Сестринской земляной плотины составила 4,3 м, железнодорожной насыпи в Завидово Московской области — 2,5 м, Куринской земляной плотины — 2,5 м, некоторых дамб канала им. Москвы — 1—3 м (Котлов, 1967). Георг Марш (1866) указывает уникальную осадку, равную 60—100 футов (18,3—30,5 м) некоторых земляных плотин, построенных на мягких илах (Нидерланды). По мере

Рис. 14. Неравномерное оседание жилых домов в связи с неоднородным сжатием торфяных грунтов основания, г. Архангельск

осадки плотин высота их наращивалась, что увеличивало их вес и осадку. По-видимому, такая огромная осадка сопровождалась еще и боковым выпором непрочных илов основания. Значительные осадки зданий, сооружений и дорог наблюдаются в Архангельске, где около 80% территории занято заторфованными болотами. Мощность торфяных грунтов в городе изменяется от 0,5 до 20 м.

Исследованиями ПНИИИС Госстроя СССР при участии автора (Котлов, Снобкова, Киселева, 1975) установлены факты уникального оседания уличных проездов и дорог в г. Архангельске на величину 3—4 м, отдельных зданий — на 1—3 м. Наибольшие осадки связаны с работами по осушению торфов, которые при дренировании сжимаются на величину до $^1/_3$ своей мощности. В городе применяется предварительное осушение и уплотнение торфов, площадной намыв песка мощностью 1—4 м на торфяные залежи. Высотное строительство осуществляется на железобетонных сваях, глубина которых в условиях Архангельска достигает 20—35 м.

На многих улицах старого города Архангельска можно наблюдать «пьяные дома», неоднородно осевшие в торфяной грунт (рис. 14). Некоторые дома осели своим первым этажом так, что часть окон погрузилась ниже уровня земли. Дома, поставленные на минеральный грунт (пески, морена), возвышаются над прилегающей местностью, которая осела в связи с дренированием

торфяных грунтов на 2—4 м, и, чтобы войти в такой дом, пристроены специальные входные лестницы. Многие дороги строятся на сваях, деревянных настилах, а также с применением способа выборки и замены торфяных грунтов.

В ФРГ и ГДР ряд исторических массивных каменных зданий, в частности соборов, построенных на торфяных и глинистых, сильно сжимаемых грунтах, залегающих на глубине 30—50 футов, по данным Кеглера и Шойдинга, имели осадку более 6 футов (1,8 м).

В Ленинграде многие здания, построенные на сильно сжимаемых послеледниковых заторфованных литориновых супесях, имели повышенную осадку 30—40 см и в отдельных случаях — 50—55 см. Как показали инструментальные наблюдения, неравномерность осадки в пределах одного здания составляла 6—25 см. Подавляющее большинство этих зданий не имеет деформаций и нормально эксплуатируется.

Наземные вестибюли Ленинградского метрополитена, построенные в песчано-глинистых грунтах с замораживанием, дали осадку на величину от 100 до 360 мм. Опыт строительства не только Ленинградского, но и Московского, Киевского и Бакинского метрополитенов показал, что при применении замораживания грунтов объемные деформации грунтов при тех же статических нагрузках возрастают (пучение-просадка). Большой фактический материал об осадках зданий и сооружений имеется по Москве. Осадки под действием статических нагрузок в Москве изменяются в широких пределах от 1 до 100 см, чаще составляют 5—20 см в зависимости от свойств грунта и особенностей зданий и сооружений. В Москве ведутся систематические инструментальные наблюдения за осадкой высотных зданий, памятников истории и архитектуры и многих других зданий и сооружений государственного и общественного значения. Наблюдения за осадкой 18 мостов показали, что при нагрузках от 4 до 12 кгс/см^2 и при глубине заложений опор от 8 до 33 м в зависимости от прочности грунтов основания осадки с 1936 по 1955 г. колебались в следующих пределах: максимальные абсолютные осадки отдельных марок — от 4 до 149 мм, максимальные средние осадки отдельных марок — от 4 до 53 мм; суммарные осадки отдельных элементов моста в целом (речные береговые опоры) — от 1 до 131 мм. Наибольшие осадки наблюдаются у Хорошевского, Крымского, Москворецкого и Большого Краснохолмского мостов.

Наибольшую сжимаемость под мостами показали глинистые отложения юрской системы и четвертичные образования, наименьшую — скальные породы верхнего карбона. Значительные осадки (до 30 см и более) испытывают подходы к мостам и их декоративные стены, заложенные на насыпных грунтах (Котлов, 1962).

Автором в одной из работ дан подробный инженерно-геологический анализ развития осадок семи высотных зданий г. Моск-

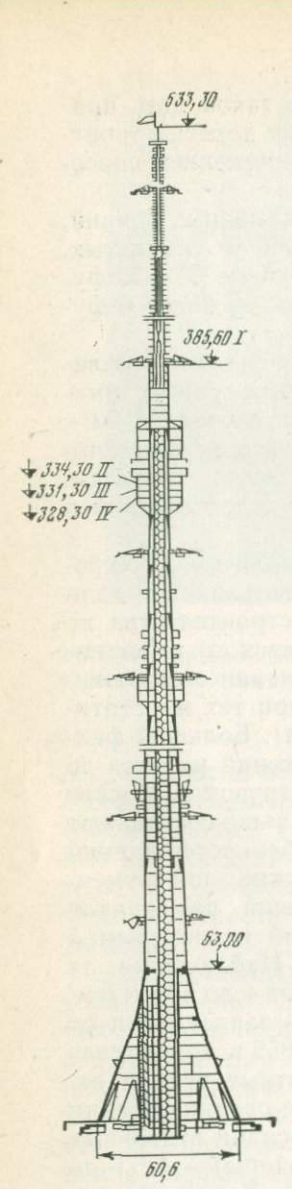


Рис. 15. Схема Останкинской телебашни

I — верх железо-бетонного ствола; *II* — 3 этаж ресторана; *III* — 2 этаж ресторана; *IV* — 1 этаж ресторана

Рис. 16. Геологический разрез основания телебашни

1 — бетонное покрытие; *2* — насыпной грунт; *3* — подошва фундамента; *4* — суглинки; *5* — уровень грунтовых вод; *6* — пески пылеватые; *7* — пески средней крупности; *8* — стратиграфическая граница; *9* — супеси; *10* — пески мелкие; *11* — супеси с галькой и гравием; *12* — глина с остатками фауны; *13* — глина жирная, черная, слюдистая; *14* — переслаивание песков и глин; *15* — суглинки черные; *16* — суглинки слюдистые с примесью песка и остатками фауны; *17* — скала. Цифры в кружках — глубинные марки

вы (Котлов, 1962). Здания эти каркасные, массивные, объемом от 156 тыс. м³ до 2 млн. м³, высотой от 17 до 32 этажей, фундаменты в виде железобетонной коробчатой плиты, глубина заложения от 5 м (Комсомольская площадь) до 14 м (МГУ), средняя расчетная нагрузка от 3,5 до 5 кгс/см².

При проектировании семи высотных зданий допускаемая осадка была определена не более 15 см, при модулях деформации для различных типов несцементированных грунтов от 130 до 2000 кгс/см². Максимальные фактически наблюденные осадки

составляли от 5,5 см (Комсомольская площадь) до 18 см (Красные ворота), средние осадки от 4,7 см (центральная часть МГУ) до 13,4 см (Красные ворота) (Котлов, 1962).

Заслуживает внимания опыт строительства и эксплуатации уникального высотного сооружения Москвы — телевизионной башни в Останкино (рис. 15). Башня состоит из трех частей: фундамента, железобетонной части высотой 385 м и стальной трубчатой опоры антенн высотой 148 м. Фундамент выполнен в виде десятиугольной кольцевой плиты средним диаметром 61 м, толщиной 3—4,5 м. Глубина заложения фундамента — 4,6 м, в основании залегают суглинки днепровской морены, флювиогляциальные пески и юрские песчано-глинистые образования (рис. 16). Для наблюдения за осадкой кроме 40 обычных реперных знаков институтом «Фундаментпроект» были установлены глубинные реперы для изучения послойного обжатия грунтов на глубине 6, 12 и 25 м ниже подошвы фундамента. По данным Н. В. Никитина, А. И. Михальчука и В. И. Травуша (1970), действительные (натурные) модули деформации (870—1240 кгс/см^2) оказались в 3—5 раз выше нормативных и в 1,5—2 раза выше экспериментальных штамповых значений. При сравнительно пестрых грунтовых условиях наблюдалась исключительная равномерность осадки сооружения, что достигнуто конструктивными решениями.

В строительстве и эксплуатации зданий и сооружений не так страшны абсолютные, как неравномерные осадки. Неравномерность осадок иногда достигает колоссальной величины. Приведем несколько примеров. Знаменитая Пизанская башня имеет общую осадку 2 м, а разность осадок между северной и южной гранями основания — 1,8 м, наклон — около 10°. Башня-колокольня — исторический памятник раннего Возрождения — строилась этапами 164 года. Она имеет высоту 60 м, ширину в основании 20 м, среднее удельное давление 5 кгс/см^2, глубину заложения фундамента около 2 м, в основании залегают пески, подстилаемые глиной. О причинах наклона башни есть несколько предположений. К. Терцаги связывал осадку с длительным вытеснением воды из глины, некоторые исследователи объясняют ее наличием клиновидных прослойков сильно сжимаемого влажного пылевато-илистого грунта, выдавливанием грунта, другие — антропогенной эволюцией грунтов основания.

Сейчас выдвинуто около 100 проектов спасения Пизанской башни. Сохранность сильно наклоненной башни обусловлена большой жесткостью, массивностью и симметричностью сооружения. Наклоненных башен, труб и колоколен много в СССР и в других странах.

В Самарканде наклонились некоторые минареты медресе Улугбека — редчайшего архитектурного памятника первой четверти XV в. Юго-восточная башня-минарет высотой 33 м и весом более 1000 т отклонилась по верху от вертикали на 1,78 м. Под

руководством инженера Э. М. Генделя осевший край был приподнят на 418 мм и минарет выровнен. При участии и под руководством Э. М. Генделя были выпрямлены в 1954 г. древняя звонница в подмосковной усадьбе царя Бориса Годунова, в 1958 г.— колокольня Иоанна Предтечи в Ярославле и др.

Знаменитый собор св. Павла в Лондоне после пожара был восстановлен по проекту английского архитектора Христофора Рэна. В начале 30-х годов собор неожиданно накренился. Причиной наклона послужила экскавация грунта из широкой канавы вблизи собора и горизонтальный выпор грунта основания.

В Сан-Пауло (Бразилия) в 1941 г. в торговом квартале города наклонился небоскреб высотой 90 м; один угол здания осел на 65 см. Авария была вызвана устройством по соседству котлована для другого здания без принятия предохранительных мер. Мелкозернистый песок основания небоскреба стал перемещаться в котлован. Нагнетание в грунт цемента и различных солей алюминия не приостановили крен. Было применено замораживание до глубины 18 м, что приостановило осадку, затем было пробурено и залито бетоном 40 отверстий, и при помощи домкратов, которые опирались на бетонные устои, здание было выровнено.

Всемирно известна уникальная неравномерная осадка трехэтажного здания Монтанистской высшей школы в г. Мехико. При общей длине здания 50 м середина фасадной стены просела (без образования трещин!) почти на 100 см по сравнению с краями здания. В основании залегает сильно сжимаемый мелкозернистый вулканический пепел, отложившийся в морском бассейне. На рис. 17 показано здание больницы в г. Мехико, искривленное неравномерной осадкой.

Величина осадки — регулируемый антропогенный процесс. Сжимаемость грунтов понижается их предпостроечным уплотнением различными способами мелиорации (метод гравитационной пригрузки, трамбование, укатка, виброуплотнение, силикатизация, смолизация, цементация и др.). Осадка регулируется инженерно-конструктивными мероприятиями: уменьшением веса здания и сооружения, увеличением глубины заложения фундаментов, расширением площади фундаментов и пр. Строительный опыт показывает, что наименьшие осадки при прочих равных условиях дают свайные основания, сплошные железобетонные фундаменты коробчатого строения и пр.

Неравномерные осадки регулируются также изменением неравномерной сжимаемости грунтов способами выборочной технической мелиорации, дифференциацией весовой статической нагрузки, дифференциацией фундаментов и глубины их заложения, применением разрезных конструкций и повышением жесткости зданий и сооружений и др. В условиях города осадки под действием статических нагрузок усиливаются воздействием других факторов: вибраций, водопонижений, подтопления, вскрытия

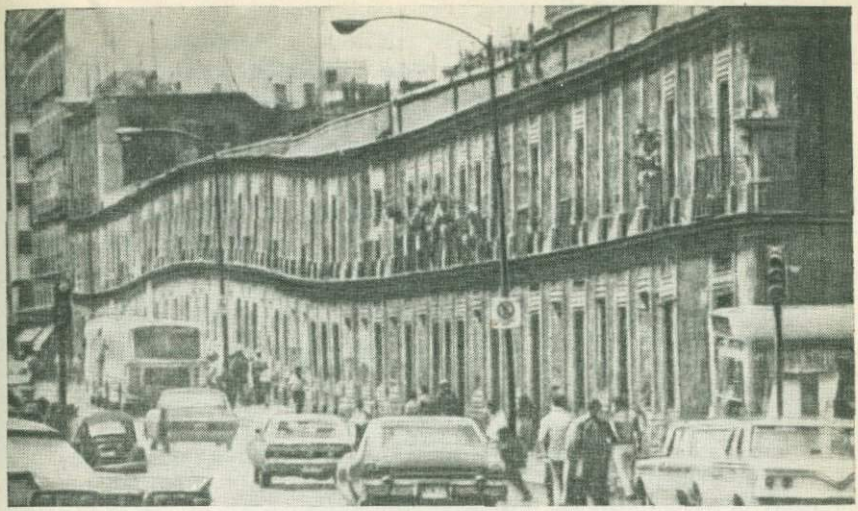


Рис. 17. Неравномерное оседание здания больницы, г. Мехико

грунтов оснований вблизи зданий, проведением подземных работ, взаимовлиянием зданий и сооружений на стыках и другими антропогенными воздействиями. Многолетние исследования автором аварий и деформаций зданий и сооружений в городах показали повышенную чувствительность к осадкам и деформациям многих построек, испытавших влияние войны 1941—1945 гг. Жесткость, прочность многих зданий и сооружений ослаблена под влиянием бомбардировок и обстрелов городов.

В городах, где распространены оползневые склоны и откосы, под действием весовых нагрузок от зданий, сооружений, складов, насыпей, отвалов, расположенных в их верхних частях, изменяется напряженное состояние массива грунтов и возникают новые и активизируются старые оползни и обвалы. Антропогенные оползни гравитационного типа, вызванные нагружением склонов, наблюдаются во многих городах Крыма, Кавказа, Одесского побережья, Поволжья, Молдавии и других оползневых районов СССР. Однако статическая нагрузка выполняет и положительную роль, если она приложена в основании оползневого склона и действует в качестве контрбанкета.

Примером может служить г. Одесса, где основание оползневых склонов в районе порта застроено каменными жилыми домами и портовыми сооружениями. Такая «пригрузка» порядка 1—3 кгс/см^2 безусловно стабилизировала одесские оползни в этом районе.

Иногда наблюдается гравитационный выпор грунтов основания, если статическая нагрузка превосходит сопротивляемость грунта сжатию. Величина выпора может достигать 3 м, напри-

мер, на Соколовско-Сарбайском горнообогатительном комбинате, где нагрузка вместо 2 кгс/см^2 составила 5 кгс/см^2.

В последние годы для некоторых городов составлены карты вертикальных смещений дневной поверхности по данным повторного нивелирования. Для территории Москвы по данным повторного нивелирования 1901—1936—1950—1956 гг. (Снобкова, 1972) максимальная осадка отдельных реперов превысила 1 м. Средняя осадка в районах распространения современных аллювиальных песчано-глинистых отложений (alQ_4) составила 80 мм, на моренных суглинках (glQ_2^{D-M}) — 27 мм, на древнеаллювиальных и флювиогляциальных песках (alQ_3', alQ_3'', $fglQ_2^{D-M}$) — 11 мм. В связи с тем, что на протяжении длительного времени (вплоть до 50-х годов XX в.) статические нагрузки в центре были больше, чем на окраине, осадка возрастает от периферии к центру. Перемещение массового высотного строительства (9—12—16 и более этажей) на окраины приведет к нарушению этой закономерности и возрастанию осадок в направлении к периферии города (Снобкова, 1972). Имеется зарубежный опыт в составлении карт осадок ряда городов мира (Кембридж, Чикаго, Сан-Франциско, Токио, Осака, Мехико, Лондон, Берлин и др.).

Статические нагрузки — наиболее распространенный вид антропогенных воздействий человека на верхние слои земной коры.

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ И УДАРНЫМИ НАГРУЗКАМИ

С развитием промышленности и транспорта в городах возрастает роль динамических воздействий на грунты (вибрации, удары, толчки и пр.). Источники динамических и ударных воздействий в городах — наземный и подземный транспорт, вибрирующие и ударные машины и механизмы, взрывы бомб, ракет, снарядов, зарядов ВВ, используемых в военных, строительных, горнопроходческих и других целях, вибрационное и взрывное уплотнение грунтов при осуществлении технической мелиорации и др. Влияние динамических воздействий в зависимости от характера и особенностей грунтов различно. Они уплотняют раздельно-зернистые грунты рыхлого сложения и недоуплотненные, чаще имеющие степень плотности (D) $<0{,}6$, и наряду с этим могут разрушать структуру непрочных тиксотропных грунтов, нарушать устойчивость массива выветрелых и рыхлых пород на склонах. Очень часто вибрации, удары и толчки вызывают оползни, осыпи

и обвалы на склонах. Величины уплотнения и осадки песчаных грунтов, вызванные пульсирующей нагрузкой, в несколько раз превышают уплотнение и осадку, возникающие при статической нагрузке. Эффект вибрационного уплотнения песчаных грунтов зависит от формы, размера, характера укладки минеральных зерен, состояния влажности и от частоты колебаний. Максимальная осадка наблюдается при частоте колебаний от 500 до 2500 в минуту (опасный интервал вибраций). С таким режимом работают турбогенераторы, паровые турбины и некоторые другие механизмы. Однако нужно иметь в виду, что и при другом режиме вибраций, если они повторно длительно действуют, могут происходить значительные осадки. А. И. Снобковой было выполнено на вибростенде экспериментальное изучение виброуплотняемости песков различных генетических типов, нарушенной и естественной структуры, при малых ускорениях колебаний (0,2—1g), разном режиме вибрации и при разных состояниях (Снобкова, 1972). Исследовалось влияние гранулометрического состава, влажности (3—17%), степени плотности (0,1—0,8) и нагрузки (1—3 кгс/см²). Модули виброосадки оказались равными 5—70 мм/м при ускорении до 1g. Упругие колебания минеральных частиц, возникающие при вибрациях под воздействием городского транспорта (трамвай, грузовые автомобили), проникают на глубину до 70 м и более. Величина колебаний зависит от состава и физического состояния грунта, а также от скорости движения транспорта, его нагрузки, типа шин и дорожных покрытий. Увеличение скорости с 10 до 20 км/час повышает амплитуду колебаний на 120%. Дороги с плохими покрытиями, с неровностями, порожние машины вызывают большее сотрясение. Имеются многочисленные примеры осадок, вызванных динамическими нагрузками не только отдельных зданий и сооружений, но и целых кварталов, улиц и районов города (Париж, Лондон, Марсель, Берлин, Мюнхен, Сан-Франциско и др.). Статистическая обработка результатов повторного нивелирования 1901—1936—1950 гг. стенных реперов в Москве в условиях распространения песчаных пород показала, что здания, расположенные вдоль улиц с интенсивным транспортным движением, осели в среднем на бо́льшую величину — 10—25 мм, чем здания в переулках и тупиках — 7—17 мм (Снобкова, 1972). И это неудивительно. Интенсивность движения транспорта в Москве за последние 10 лет увеличилась в 10 раз, около 70% машин составляют тяжелые грузовые автомобили, автобусы и троллейбусы.

Колокольня храма Василия Блаженного за последние десятилетия начала заметно наклоняться в сторону здания ГУМа. Храм поставлен в 1554—1560 гг., колокольня — в 1660—1670 гг., следовательно осадка ее давно стабилизировалась. Однако к настоящему времени вершина колокольни от прямой линии отклонилась на 75 см. Автор обследовал это сооружение и связывает наклон колокольни со вторичным вибрационным уплотнени-

ем основания песков ходынской террасы из-за движения транспорта. В целях стабилизации этого архитектурного памятника запрещено уличное движение транспорта по Красной площади и приняты меры для укрепления грунтов основания. Ряд зданий, расположенных в зоне вибрационного влияния Московского метрополитена, испытали дополнительную осадку на величину 5—20 см. Дополнительную осадку получили и некоторые промышленные предприятия Москвы в связи с динамическими нагрузками.

Повторное нивелирование городских стенных реперов в Ленинграде показало среднюю осадку зданий 0,3 мм/год для периода 1911—1927 гг. и 2,2 мм/год для периода 1927—1953 гг. Характерно, что оседают здания, построенные более 100 лет назад. Ленинградские специалисты (Д. А. Ершов, А. А. Романов) увеличение осадки связывают с усилением вибрационных нагрузок от увеличения уличного транспорта.

В Мюнхене наблюдались осадки и разрушения многих зданий, вызванные сотрясениями от движения уличного транспорта. Деформации подвергались здания, расположенные на рыхлых гравийно-галечниковых и песчаных отложениях современного аллювия р. Изар мощностью 6 м, залегающих на скальной породе. В связи с этим приходилось закрывать ряд улиц для движения транспорта, а также ограничивать скорость. В Нидерландах новые здания, примыкающие к старым автострадам, как показали наблюдения, обычно наклоняются в сторону от шоссе.

В Лондоне в связи с вибрационным воздействием поездов метрополитена появились деформационные трещины в соборе св. Павла. Значительные вибродинамические осадки на больших площадях наблюдались в Сан-Франциско, причем максимальные осадки приурочены к насыпным грунтам.

Вибродинамические осадки зданий и сооружений наблюдались в Таллине, Киеве, Одессе, Баку и других городах СССР. В Киеве осадки опор эстакады фуникулера за 50 лет эксплуатации составили 290—350 мм. В основании эстакад залегают подморенные ($fglQ_2$), полтавские (P_3—N_1pt) и харьковские пески (P_3h). Значительная часть осадки, по-видимому, связана с их вибродинамическим уплотнением.

С вибродинамическими воздействиями связано явление «сыпунов» — сухого течения песка. Сыпучее течение песков наблюдается в строящихся шахтах и тоннелях метрополитена, в траншеях и карьерах — там, где в геологическом разрезе представлены сухие сыпучие пески типа аптских, полтавских и др. Под влиянием вибрации и взрывов песок, подобно воде, просачивается через отверстия в креплении, течет и вызывает смещение и деформации грунтов в массиве, а иногда и наземных сооружений. Плохо засыпанные (без должного уплотнения) траншеи на городских улицах обычно дают просадки и корытообразные углубления.

Большое влияние на состояние грунтов и городской застройки оказала вторая мировая война 1939—1945 гг. Артиллерийская и авиационная бомбардировка городов, уличные бои, взрывы зданий и сооружений вызвали комплекс сложных и разнообразных изменений грунтов. К ним относятся ударное разрушение, ударное уплотнение, фугасное разрушение (выброс грунта), фугасное уплотнение, термическое, химические и другие изменения, перераспределение статических нагрузок в связи с разрушением городской застройки. За годы Великой Отечественной войны в СССР было разрушено 1710 городов, 40 тысяч сел и деревень и 32 тысячи заводов и фабрик. Из 2567 тыс. жилых домов в городах СССР, находившихся на временно оккупированной территории, было разрушено 1209 тыс. Полностью или частично были уничтожены такие крупные города, как Волгоград, Харьков, Ростов-на-Дону, Минск, Витебск, Севастополь, Белгород, Курск, Новгород, Смоленск, Ржев, Великие Луки и др. На Москву было сброшено 1610 фугасных и более 100 тыс. зажигательных авиабомб. За 900 дней блокады Ленинграда на город было обрушено 150 тыс. артснарядов и более 107 тыс. фугасных и зажигательных бомб. Уничтожено 3174 здания и повреждено 7143. В Киеве было разрушено 42% застройки. Нашими исследованиями установлено, что в зданиях и сооружениях, имевших до войны те или иные деформации, вызванные разными причинами, во время войны в результате ударов, толчков и сотрясений грунтов оснований усилились деформации, расширились трещины в стенах, перекрытиях, увеличился крен, появились новые трещины и расколы.

Война усилила деформируемость уцелевших зданий и сооружений, испытавших динамические и ударные воздействия. В Киеве на склонах произошли оползни, обвалы и смещения осыпей.

Многие европейские города были разрушены на три четверти. В Англии в результате воздушных бомбардировок подверглись разрушению значительные части Лондона, Ковентри, Плимута и др. В Польше было разрушено 40% всех жилищ, почти полностью были уничтожены Варшава, Вроцлав, Гданьск. В ГДР и ФРГ погибло более 30% жилого фонда, подверглись разрушению центральные районы Берлина, Нюрнберга, Кёльна, Дрездена, Магдебурга, Ганновера и других городов. В Берлине образовалось 10 млн. м^3 развалин.

В 1945 г. атомные бомбы разрушили Хиросиму и Нагасаки. На г. Хиросима была сброшена атомная бомба (уранового типа) весом 10 т. Хиросима — крупный промышленно-портовый город. От ударной волны огромной силы (давление в несколько миллионов атмосфер) из 90 тыс. зданий было разрушено 65 тыс. Наибольшие повреждения зданий имелись в радиусе до 10—12 км от эпицентра взрыва. Крупные сооружения, расположенные на окраине города, не пострадали. В результате разрушения зда-

ний была сильно повреждена водопроводная сеть. Массовые утечки водопроводных вод изменили состояние влажности грунтов, вызвали образование новых временных водоносных горизонтов, подтопление.

В г. Нагасаки, расположенном на западном побережье о-ва Кюсю, взрывом атомной бомбы также была разрушена значительная часть города. Естественное состояние почв, грунтов, подземных вод этих двух городов было сильно нарушено и изменено в результате взрыва атомных бомб.

Развитие взрывного дела, применение ядерных, в особенности подземных, взрывов породили антропогенную сейсмику. Мощные взрывы идентичны землетрясениям высокой балльности. Неядерный мощный взрыв 1 250 000 кг взрывчатки, произведенный 5 апреля 1958 г. в Канаде в связи с добычей полезных ископаемых, вызвал подземные толчки, которые фиксировались на расстоянии 1000 км. Подземный термоядерный взрыв на глубине 200 м, произведенный в США, вызвал перемещение 5 млн. $м^3$ грунта, образование открытого кратера диаметром 400 м и глубиной 100 м (Леггет, 1969).

В перспективе в связи с дальнейшим развитием индустриализации и урбанизации следует ожидать расширения сферы динамических нагрузок. Этому будет способствовать бурное развитие городского подземного и наземного транспорта. Поэтому необходимо еще шире развернуть научные исследования по проблеме инженерной защиты зданий и сооружений от отрицательных динамических воздействий.

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ПОДЗЕМНЫМ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Издавна в городах осуществляются различные виды подземного строительства. Для нашего века характерно бурное развитие подземных работ. Направленность, характер и объем подземного строительства обусловлены функциональным профилем, историей, природными условиями города. В городах встречается подземное строительство, связанное с подземной добычей полезных ископаемых, строительством метрополитенов, транспортных и гидротехнических тоннелей, подземных автодорог, пересечений, гаражей, подземных городов, монастырей, храмов, кладбищ, подземных производственных, энергетических, коммунальных, торговых и др. предприятий, хозяйственно-бытовых и культурных объектов города, подземных хранилищ воды, газа, нефти, кислот, щелочей и др. флюидов, объектов гражданской обороны, инже-

нерных коммуникаций и др. сооружений инженерного оборудования подземного города.

Любой вид подземного строительства не проходит бесследно для состояния и устойчивости массива грунтов. При подземном строительстве действуют новые факторы, силы, процессы, усложняющие взаимодействие сооружения с окружающей средой. При разработке грунтовых массивов с глубиной изменяется их напряженное состояние, возрастают геостатическое давление, температура, обводненность, изменяются гидродинамические, геохимические, геодинамические условия, физические и механические свойства грунтов. При устройстве подземных выработок нарушается равновесие сил, действующих внутри грунтового массива. Подземные выработки служат очагами разгрузки внутренних напряжений и местом проявления упругих, пластических и других деформаций грунтов. Под действием сил горного, гидростатического и гидродинамического давлений внутри выработок возникают деформации сжатия, растяжения, сдвига, разрыва, кручения, течения и др. С этими деформациями связано развитие широкого комплекса субтерральных антропогенных геологических процессов и явлений. В зависимости от вида, технологии подземного строительства и инженерно-геологических условий возникают разнообразные виды субтерральных антропогенных геологических процессов и явлений (см. табл. 2).

Урбанизация, укрупнение городов и связанный с этим дефицит свободных городских земель, необходимость улучшения городской среды обитания и жизнедеятельности человека требуют более широкого использования подземного пространства для нужд города, разгрузки и более полного благоустройства земной поверхности. Размещение городских объектов осуществляется в несколько ярусов, на глубине в десятки метров. Отдельные подземные сооружения, такие как метро и тоннельные автодороги, размещаются иногда на глубину до 100 м и более, подземные хранилища воды, газа, нефти и других флюидов — на сотни и более метров. Подземные горные выработки, в которых добываются полезные ископаемые, достигают 1—4 км.

Наиболее распространенные виды подземного градостроительства осуществляются на глубинах порядка 4—20 м. За рубежом стала проявляться тенденция подземного городского строительства на более глубоких уровнях. Имеются проекты подземного строительства в 4—8 и даже 12 ярусов (Франция, Англия, Япония, США и др.).

В соответствии с «Рекомендациями по размещению инженерных сооружений и объектов культурного, бытового и коммунального назначения в подземном пространстве крупных городов» (1970), утвержденными Госгражданстроем, начата разработка схем комплексного использования подземного пространства для городов с численностью населения более 100 тыс. человек на стадии генплана. Для проекта детальной планировки разрабатыва-

ется эскиз комплексного использования подземного пространства совместно со схемой инженерной подготовки территории. На масштабы этих разработок в основном следует ориентировать и проекты инженерно-геологических исследований, уточняя их в зависимости от степени сложности инженерно-геологических условий.

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ПОДЗЕМНЫМ ГОРНЫМ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Эти процессы широко развиты на территории городов, где осуществляется подземная добыча полезных ископаемых. Эти города — центры горнодобывающей промышленности, расположенные в угольных, железорудных, золотоносных, полиметаллических и других бассейнах и на месторождениях рудного сырья. Горное строительство проникает на значительные глубины, что обусловлено научно-техническим прогрессом в горном деле и тем, что неглубокие залежи полезных ископаемых в значительной мере исчерпаны и добычу приходится вести с более глубоких горизонтов земной коры. Не так давно шахта глубиной в 1 км была редкостью, теперь шахты глубиной более 1 км — довольно распространенное явление. Например, в Донецке эксплуатируется угольная шахта «Петровская-Глубокая» (более 1300 м). На Северо-Уральском бокситовом месторождении глубина шахт превышает 1,5 км.

В Бельгии угольная шахта «Рье дю кёр» имеет глубину 1415 м. В Чехословакии добыча серебра ведется на глубине 2200 м. Глубина золотоносных рудников в Южной Африке достигает 3950 м, в Индии — 3800 м. Добычу на таких глубинах приходится вести с нагнетанием в забой холодного воздуха в связи с высокой температурой (геотермический градиент).

С подземным горным строительством связано наибольшее распространение, разнообразие и интенсивность антропогенных субтерральных геологических процессов. Это обусловлено значительными площадями подрабатываемых территорий, большими глубинами разработки и широким применением проходки с обрушением кровли.

Значительный ущерб городам и городским поселкам, расположенным на подрабатываемых территориях, причиняют сдвижение грунтов в массиве, образование мульд проседания и провалов поверхности, которые обычно являются заключительной фазой других процессов в системе горных выработок. Внутри массива в результате смещения грунтов кровли появляются трещины, пустоты, грунты разрыхляются, коэффициент разрыхления в зависимости от петрографического состава на подрабатываемых территориях изменяется в пределах от 1,03 до 1,3. Свойства грунтов изменяются неоднозначно, так как в каждой мульде проседания существует зона сжатия и зона растяжения,

в связи с этим прочностные характеристики (E, I, C и др.) могут и понижаться (в зоне растяжения), и повышаться (в зоне сжатия). В зоне сдвижения грунтов в пределах мульд проседания на поверхности земли иногда образуются трещины разрыва, ширина которых, например в Подмосковном бассейне, достигает 2 м.

Наиболее значительные деформации пород и дневной поверхности происходят на подрабатываемых территориях, где проходка горных выработок ведется с обрушением кровли. Добыча угля с применением системы обрушения кровли в связи с ее экономичностью будет в СССР расширяться и достигнет 80—90% (Мельников, 1974). Проходка с закладкой выработанного пространства будет расширяться при разработке цветных, благородных металлов и наиболее дорогих полезных ископаемых.

Глубина мульд проседания может достигать нескольких метров и в отдельных случаях десятков метров, а ширина — нескольких километров. Глубина проседания обычно колеблется в пределах от 50 до 80% от мощности разработанного пласта. Глубина провалов над выработками превышает 20 м, достигая иногда 70 м. В Чехословакии, в Остраво-Карвинском районе обрушения глубиной 10—20 м занимают площадь 12 000 га.

Характер сдвижения грунтов и деформации земной поверхности контролируется геолого-структурными условиями. Значительные провалы характерны для крутозалегающих пластов. Так, в Кузбассе провалы широко распространены, они тянутся на десятки километров по простиранию крутозалегающих пластов. Относительно плавное опускание типично для Карагандинского, Донецкого и других угольных бассейнов.

Сдвижение в массиве и неравномерное оседание поверхности вызывают деформации и разрушения железных и автомобильных дорог, мостов, каналов, зданий, подземных магистралей и др. Иногда с поверхности исчезают реки, озера, болота, пруды; вода проникает в подземные выработки и затапливает их.

В СССР много городов расположено на подрабатываемых территориях (Кривой Рог, Караганда, Прокопьевск, Осинники, Ленинск-Кузнецкий, Донецк, Горловка, Кадиевка, Макеевка и др.). На угленосных площадях Донбасса сооружено 78% жилой площади. До недавнего времени городское строительство в угольных бассейнах СССР производилось без должного учета будущих разработок угля и без применения средств инженерной защиты зданий и сооружений. В результате этого ранее построенные здания и сооружения оказались мало приспособленными для эксплуатации в условиях сдвижения и деформации грунтов оснований.

Деформации и разрушения зданий на подрабатываемых территориях носят массовый характер. В Донецкой области только на ремонт таких зданий было затрачено в 1960 г. 12 млн. руб. (Котлов, 1970в).

В Кузбассе много жилых домов построено на территориях, предназначенных для угольных разработок. Из-за сдвижения грунтов и деформации поверхности в связи с подработкой в ряде городов и городских поселков приходится часть зданий сносить. Например, в г. Прокопьевске, который является одним из центров добычи высококачественного коксующегося угля, известны повреждения зданий.

В Донбассе в связи с подработкой городских территорий в ряде крупных городов (Донецк, Горловка, Макеевка, Кадиевка и др.) зафиксированы деформации и повреждения наземных и подземных сооружений. На рис. 18, 19 показаны деформированные здания на подработанных территориях. Величина проседания колеблется от единиц сантиметров до нескольких метров, достигая максимума в выпуклых частях мульды в зоне растяжения грунтов основания и минимума в зоне сжатия на вогнутых участках мульды проседания. Разрывы подземных сетей сопровождаются многочисленными авариями. Известны повреждения железных дорог. Например, в Челябинском угольном бассейне на железнодорожной ветке Копейск — Коркино железнодорожное полотно осело на 1,7 м, горизонтальные смещения составили 0,45 м. В тяжелом положении оказался город Кривой Рог, с населением более 600 тыс. человек. Под городом расположились тысячи километров подземных выработок Криворожского железорудного бассейна, значительная часть городской застройки располагается в зоне залегания богатых железных руд. Огромному городу, который до революции складывался и развивался стихийно, предстоит решать проблему дальнейшей организации своей территории. Не исключено перенесение части города на новое, безопасное место [1].

Снос целых городов известен в зарубежной практике. Сносится древний шахтерский город Мост (Чехословакия) с населением более 30 тыс. человек. Городу 700 лет. Под застройкой залегает 100 млн. т высококачественного бурого угля. Город мало благоустроен, 88% зданий построены в годы австро-венгерской монархии без всяких удобств. Реконструкция обойдется дороже, чем строительство нового, благоустроенного города,— Мост передислоцируется на новое место.

В горнопромышленных районах СССР (Донбасс, Кузбасс, Мосбасс, Криворожский железорудный бассейн, Карагандинский, Челябинский бассейны и др.) формируется специфический антропогенный ландшафт горнопромышленного типа с мульдами проседания, воронками, провалами, терриконами, холмами и грядами породных отвалов. На подрабатываемых территориях строительство удорожается обычно на 5—20%. Охрана городов от отрицательного воздействия подземной разработки полезных

---

[1] «Литературная газета», 1968, 6 марта; Известия, 1977, 15 февраля.

Рис. 18. Разрушения здания в зоне влияния подземной добычи угля

Рис. 19. Разлом здания, расположенного в зоне сдвижения пород на подработанной территории

ископаемых основана на применении комплекса защитных мероприятий и регулируется соответствующими нормативными документами. Весьма важно руководствоваться следующими основными положениями.

1. Не размещать города на территориях, где залегают ценные полезные ископаемые и предвидится их разработка.

2. Не застраивать подрабатываемые территории, где подземная добыча будет вестись с обрушением кровли.

3. Не застраивать территории, где по прогнозу возможно образование провалов.

При строительстве в местах подземных разработок необходимо предусматривать профилактические и защитные мероприятия, обеспечивающие сохранность зданий и сооружений (оставление предохранительных целиков, закладка выработанного пространства, приспособление конструкций зданий и сооружений, повышение их жесткости, сопротивляемости деформациям и сдвижению грунтов основания и др.).

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ СО СТРОИТЕЛЬСТВОМ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

С ростом и укрупнением городов расширяется строительство метро. По неполным данным в настоящее время метрополитены существуют в 45 крупнейших городах мира, проектируются и строятся еще в 25 городах.

В СССР метрополитены существуют и строятся в Москве, Ленинграде, Киеве, Баку, Тбилиси, Харькове и Ташкенте. Намечается строительство в других крупнейших городах-«миллионерах» (Горький, Свердловск, Новосибирск, Минск, Куйбышев и др.).

Первый метрополитен был построен в Лондоне в 1863 г. Наибольшее число метрополитенов построено в Европе: в Лондоне (1863), Ливерпуле (1886), Глазго (1897), Будапеште (1896), Вене (1898), Париже (1900), Берлине (1902), Гамбурге (1912), Мадриде (1919), Риме, Неаполе (1925), Барселоне (1928), Осло (1928), Афинах (1930) и др.

На втором месте — Америка, где метрополитены имеются в Нью-Йорке, Филадельфии, Бостоне, Кливленде, Лос-Анджелесе, Сан-Франциско, Буэнос-Айресе и др. В странах Азии метростроение только начинает развиваться.

В связи с урбанизацией и переуплотнением наземного транспорта ожидается широкое развитие метростроения в ближайшем будущем во всех крупных городах мира.

Метрополитены строятся в самых разнообразных и нередко в весьма сложных инженерно-геологических условиях. К природным факторам, которые вносят трудности в подземное строительство, относятся высокая сейсмичность, тектоническая нарушенность пород, наличие глубоких эрозионных врезов, мощных погре-

бенных кор выветривания, активного карста, глубоких оползней, легко деформируемых грунтов, плывунов, обводненности, агрессивности вод, значительных гидростатических напоров и т. п. Современный метрополитен представляет собой сложный комплекс разнообразных подземных и наземных сооружений. Строительство его осуществляется открытым (котлованы, траншеи) и закрытым способами мелкого и глубокого заложения. Максимальная глубина заложения линий метро достигает 100—120 м.

В период строительства и эксплуатации метро происходят значительные изменения в геодинамической обстановке города. Во-первых, активизируются существующие процессы и явления (оползни, обвалы, просадки, карст и пр.), и, во-вторых, формируется комплекс современных новых геологических процессов типично антропогенного характера, которые деформируют подземные и наземные сооружения, наносят ущерб городу. Характер геологических процессов и явлений, связанных с возведением метрополитенов, несколько специфичен и отличен от процессов и явлений, возникающих при подземной разработке полезных ископаемых. Это различие наиболее отчетливо проявляется в масштабе и динамике процесса сдвижения пород и образования мульд проседания. При добыче полезных ископаемых способом с допущением последующего обрушения выработанного пространства происходит сдвижение пород с разрывом сплошности пластов в массиве и проседание поверхности земли на величину порядка 50—80% от мощности выработанного пласта. При тоннельных работах в сжимаемых породах выработанное пространство жестко закрепляется тоннельной одеждой, в связи с чем сдвижение пород имеет значительно меньший масштаб, но все же происходит, и над подземными выработками метро также образуются мульды проседания. Применение щитового способа проходки, при котором оболочка щита служит временной крепью выработки, быстрое закрепление выработок постоянной прочной одеждой, состоящей из металлических, железобетонных или бетонных тюбингов, высокие скорости проходки, применение разнообразных способов мелиорации пород, инженерной подготовки массива и других, снижают до минимума деформацию пород, проседание поверхности и всякого рода аварии и повреждения как самих выработок, так и наземных сооружений города. Как и в обычной подземной выработке, в тоннелях процесс деформации пород развивается в три стадии: деформации пород по периметру выработок, деформации в массиве вышележащих пород и деформации земной поверхности (образование мульд проседания, трещин, провальных воронок), выражающие заключительную стадию сдвижения пород. В условиях современного метростроения процессы сдвижения пород и осадки поверхности земли могут быть вызваны указанными ниже причинами.

Выпуск в выработку плывунов, сыпунов, вывалы и обрушения пород.

Механическая и химическая суффозии при длительном водоотливе.

Выпучивание и выдавливание пород в выработку под действием сил горного давления и деформация временного и постоянного креплений.

Сдвижение пород в сторону забоя при щитовом способе проходки под действием сил горного давления (аналогия забоя с крутым откосом).

Разработка выработок большего сечения, чем сечение постоянной одежды тоннелей. При щитовом способе величина зазора между породой и тоннельной обделкой достигает 20—25 см. Нагнетание цементного раствора за обделку тоннеля уменьшает сдвижение пород, но не исключает его, учитывая, что нагнетание производится не сразу и процесс схватывания цемента длится 10—12 часов и более.

При применении щитового способа проходки выработка остается некоторое время незакрепленной. Разработка выработки идет впереди щита на длину, несколько бо́льшую ширины кольца обделки.

Применение горного способа проходки с временным креплением выработок в условиях рыхлых пород дает максимальные осадки и деформации пород, в несколько раз большие, чем при щитовой проходке. Нужно иметь в виду, что при щитовой проходке прибегают к горному способу в начальный период строительства, при возведении подходных выработок к трассам тоннелей и станций, камер для монтажа и демонтажа щитов, проходов между смежными станционными тоннелями, камер, съездов и др.

Гравитационное уплотнение сжимаемых пород основания под действием веса сооружений метро.

Гидродинамическое (депрессионное) уплотнение рыхлых пород, вызванное искусственным дренированием и понижением уровня подземных вод при строительстве и эксплуатации метро.

Динамическое уплотнение недоуплотненных грунтов под действием вибраций от движущихся поездов.

Качественное отличие геологических процессов и явлений, возникающих при метростроении, обусловлено, кроме всего прочего, меньшей глубиной заложения тоннелей по сравнению с глубиной подземных разработок полезных ископаемых. Глубина заложения тоннелей метро обычно не превышает десятков метров, а глубина рудников исчисляется сотнями и тысячами метров, что оказывает влияние на напряженное состояние массива.

Автор в течение многих лет лично обследовал тоннели и другие выработки Московского, Ленинградского, Киевского и Ба-

кинского метрополитенов. В приводимой ниже краткой характеристике некоторых субтерральных антропогенных геологических процессов использованы помимо литературных данных материалы этих обследований.

Искусственное водопонижение — неизбежный спутник строительства почти всех метрополитенов. Оно осуществляется в двух вариантах:

а) откачки из буровых скважин для предварительного осушения пород и дренирования вскрываемых водоносных горизонтов,

б) шахтный водоотлив притоков воды в горные выработки.

Суммарные откачки грунтовых вод, артезианских вод из верхнего и частично среднего карбона в практике строительства Московского метрополитена в разные годы колебались от 10,8 тыс. до 180 тыс. м^3 в сутки и более. Максимальное снижение уровня грунтовых вод достигало 32 м (Арбат, Замоскворечье). Сжатие грунтов и осадка поверхности земли в связи с водопонижением составляла 10—55 мм (Котлов, 1962).

В Баку при строительстве тоннелей первой очереди с искусственным водопонижением пройдено более 2 км трассы, извлечено из недр более 50 млн. м^3 воды. В хазарском водоносном горизонте водопонижение достигало 27 м, в бакинском — 37, в апшеронском — 31 м. Радиусы депрессионных воронок составляли 500—680 м, оседание поверхности земли в связи с откачками — 20—35 мм.

В Киеве суммарный дебит откачиваемой воды из скважин изменялся от 250 до 510 м^3/час при коэффициенте фильтрации от 5 до 65 м/сут, понижение уровня грунтовых вод достигало 10—26 м.

Прорывы подземных вод происходили всюду, где строительство велось в обводненных грунтах (Москва, Ленинград, Киев, Баку, Тбилиси, Ташкент, Париж, Лондон и др.). Прорывы вод в объемах до 150—750 м^3/час сопровождались затоплением выработок.

Наиболее опасны прорывы плывунов, так как с ними связано сдвижение грунтов кровли, образование провальных воронок на поверхности диаметром от 3 до 50 м и более, глубиной 5—20 м, деформации наземных зданий и сооружений. Выпуски плывунов в объеме 5—1000 м^3 наблюдались в Москве, Ленинграде, Киеве и Баку. При этом возникали суффозионные полости объемом до 120—400 м^3 (Яхьяев, 1971; Сазонов, 1973; Снобкова, 1973). Чаще всего выпуски плывунов связаны с некачественными изысканиями и прогнозами, с непредвиденным столкновением выработок с карстовыми воронками, древними колодцами, погребами, заброшенными скважинами, шурфами, а также с остановкой компрессоров, большими утечками сжатого воздуха. В Ташкенте проходка водонасыщенных лёссовых грунтов вызывает переход их в плывунное состояние, и щит нередко тонет в

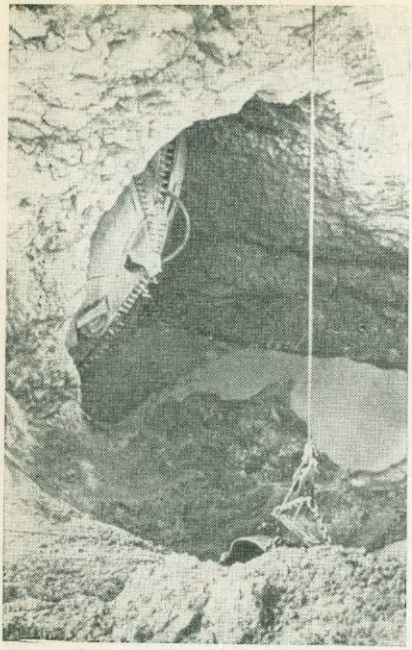


Рис. 20. Оседание горнопроходческого щита в плывунах, г. Баку (фото Р. Ю. Яхьева)

плывунах. Однажды проходческий щит осел при проходке плывунов в тоннеле Бакинского метро (рис. 20). В Лондонском метро произошел прорыв плывунов при замене тюбинговой облицовки. В тоннель проникло 380 м^3 плывунного песка, на поверхности образовалась воронка диаметром 15 м, глубиной 3,7 м. При сдвижении грунтов лопнул газопровод, произошел взрыв, которым был поврежден водопровод, и вода устремилась в тоннель.

При строительстве Московского и Киевского метро наблюдались сыпуны — сухое течение песков. В районе Ленинских гор сыпуны были приурочены к меловым тонкозернистым сухим пескам аптского яруса; в Киеве — к пескам полтавского яруса. Сыпуны нарушали проходку выработок.

Весьма распространены явления отслоения, отжима, вывалов и обрушения грунтов, связанные с действием сил горного давления, подземным выветриванием, трещиноватостью и дезинтеграцией скальных, полускальных и связных грунтов. Объемы вывалов и обрушений составляют от 1 до 150 м^3. Линии метрополитена в Стокгольме проложены в скальных трещиноватых породах, и с ними связаны вывалы отдельных глыб на путь и поезда (на участках, где тоннели построены без обделки).

Применяются следующие защитные мероприятия: свод обтягивают металлической сеткой, 2 раза в год отбивают породу, а отдельные блоки и глыбы закрепляют, загоняя в них металлические стержни.

При обрушении кровли в неглубоких тоннелях происходят провалы поверхности земли, разрушение наземных зданий, подземных коммуникаций. В Париже при сооружении тоннеля неглубокого заложения на авеню Марсе произошло обрушение вышележащих песчаных грунтов с образованием на поверхности воронки диаметром 10×12 м, глубиной 1,6 м. Обрушение грунтов кровли усиливалось применением взрывов при проходке на глубине 12—15 м линии Парижского метро от станции «Репюблик» до станции «Лафит». Многие здания были деформированы,

а 10 домов на ул. Бельвилль почти полностью разрушены (Маковский, 1965).

Широко развито пучение глинистых пород, с которым связаны деформации крепления и сужение сечения выработок. Пучению подвержены юрские глины в Москве, кембрийские глины в Ленинграде, спондиловые глины киевского яруса в Киеве, бакинские, верхнеапшеронские глины в Баку, третичные лондонские глины в Лондоне и т. д. Пучение — это процесс разгрузки внутренних напряжений, сил горного давления, который усиливается с увеличением глубины заложения выработок. При строительстве Киевского метрополитена в спондиловых глинах наблюдались прогибание на 5—10 см и поломка временной деревянной крепи, выпучивание боковых бетонных стен на 10—15 см с образованием трещин шириной 5 см, деформации чугунных тюбингов, появление в них трещин шириной 0,2—2, а иногда 8—10 мм, разрыв чеканки. Приходилось заменять деформированные тюбинги новыми. Выпор бакинских глин внутрь выработок достигал 20 см. На отдельных участках перегонных тоннелей Бакинского метро в тюбингах появлялись трещины шириной до 10 мм.

Вследствие деформации кембрийских глин уменьшалась площадь сечения тоннелей Ленинградского метро. То же самое происходило при проходке Лондонского метро в третичных глинах, вследствие пучения которых ломались дубовые стойки диаметром 40 см.

При проходке шахт и котлованов часто приходится применять замораживание, при котором наблюдаются морозное пучение и просадка глинистых грунтов. Замораживание и оттаивание расшатывают структуру грунтов и понижают их прочностные свойства иногда в 2 раза и более, с чем связаны повышенные осадки и деформации подземных и наземных сооружений. При строительстве Бакинского метрополитена морозное пучение, выпор и просадка достигали 134—574 мм. В Москве морозное пучение юрских гидрофильных высокопластичных глин составляло 50—70 мм. В Ленинграде морозное выпучивание отдельных тюбинговых колец при проходке наклонных тоннелей достигало величины — 205 мм. Наибольшее пучение наблюдается здесь в ленточных озерно-ледниковых глинах.

В Ленинграде проходка грунтов в котлованах под вестибюли метро с применением замораживания иногда после оттаивания грунтов увеличивала осадку вестибюлей.

С применением сжатого воздуха связаны явления «антропогенных гейзеров», выпора поверхности земли, подтопления прилегающих территорий. Кессонная проходка (с давлением 1—2,5 атмосферы) — весьма распространенный способ проходки выработок в водонасыщенных, плывунных и легко деформируемых грунтах. Сжатый воздух, расходясь в стороны, повышает уровень грунтовых вод в прилегающих водоносных горизонтах

на величину 1—4 м (Москва, Киев, Ленинград, Баку) и увеличивает водопритоки в соседние выработки. Иногда сжатый воздух проникает в параллельные выработки. При прорыве воздуха через заброшенные колодцы, шурфы, скважины, погреба и другие плохо затампонированные выемки происходят внезапные выбросы в атмосферу сжатого воздуха, воды и рыхлого грунта на высоту до 4—6 м (Баку, Киев, Лондон, Париж и др.). Автор эти выбросы назвал «антропогенными гейзерами». При неглубокой кессонной проходке иногда наблюдаются выпучивание асфальта, выпор грунта — поднятие дневной поверхности (при наличии верхнего газоупора).

Перечисленные субтерральные геологические явления обычно завершаются сдвижением грунтов в массиве и образованием на поверхности земли мульд проседания. Мульды проседания располагаются над перегонными и станционными тоннелями и формируются при строительстве метрополитенов в сжимаемых осадочных грунтах. Параметры мульд проседания — протяжение, радиус, глубина, углы сдвижения — величины переменные и зависят от состава, состояния, физико-механических свойств грунтов, глубины заложения выработок, габаритов, конструкции подземных сооружений, способов, технологии и режима горных работ, в частности скорости проходки.

Установлены некоторые закономерности формирования и динамики мульд проседания. При прочих равных условиях чем больше глубина заложения подземной выработки, тем больше объем и площадь мульды проседания, тем продолжительнее процесс сдвижения и тем позже проявляется он на поверхности земли в виде проседания. Одновременная проходка смежных подземных выработок усиливает сдвижение пород и ускоряет проседание поверхности. Чем больше сдвижение пород в сторону выработанного пространства, что наблюдается при максимальных деформациях пород и при наибольших сечениях выработок, тем больше глубина мульды проседания. Диаметр мульды, определяющий ее контуры на поверхности земли, возрастает с увеличением глубины заложения тоннеля и с уменьшением угла проседания. Угол проседания увеличивается с возрастанием угла внутреннего трения и сцепления грунта: чем прочнее грунт, тем больше угол проседания. Как показывает опыт отечественного метростроения, параметры мульд проседания у всех метрополитенов СССР различаются между собой, так же как различаются инженерно-геологические условия и технология метростроения. Мульды проседания как бы повторяют контуры тоннелей и станций. Ширина мульд над перегонными тоннелями изменяется от 40 до 200 м, над подземными станциями — от 160 до 300 м. Углы сдвижения грунтов в массиве колеблются в широких пределах, от 21 до 47°. Оседание поверхности в мульдах сдвижения изменяется от 0 до 100 см. При применении горного способа оседание больше в 2—4 раза, чем при щитовом. Ста-

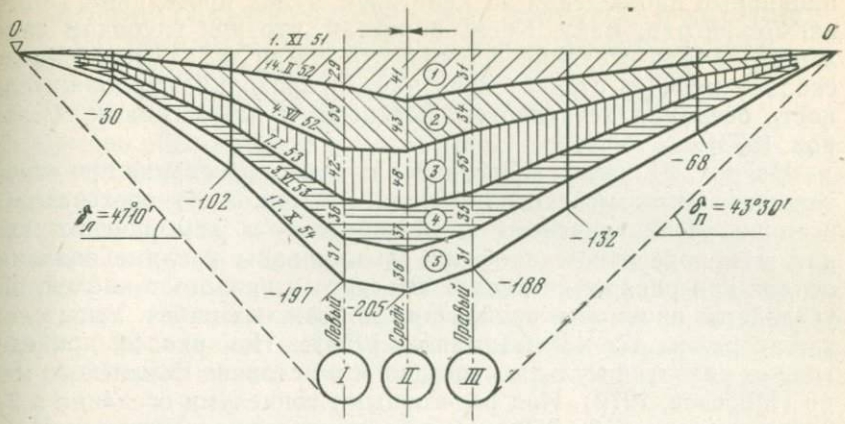


Рис. 21. Развитие мульды проседания при сооружении станции метрополитена, г. Ленинград. Поперечный профиль средних значений (по Ю. А. Лиманову, 1958)

1 — проходка среднего тоннеля; *2* — проходка левого тоннеля; *3* — проходка правого тоннеля; *4* — раскрытие проемов; *5* — монтажные работы. *I, II, III* — левый, средний, правый тоннели

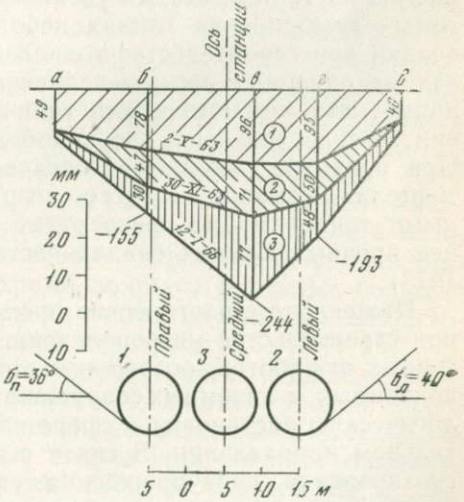


Рис. 22. Развитие мульды проседания при сооружении станции метрополитена, г. Баку (по Ю. А. Морозову, 1972)

1 — проходка правого и левого тоннеля;

2 — проходка среднего тоннеля;

3 — сооружение демонтажной щитовой, натяжной камеры, раскрытие проемов, монтажные работы; *а, б, в, г, д* — реперы

ционарные наблюдения за кинетикой мульд проседания (Москва, Ленинград, Баку, Киев) показали, что при глубоком заложении начало оседания поверхности земли запаздывает на несколько месяцев относительно начала проходки, продолжительность оседания исчисляется месяцами и даже годами (Сазонов, 1973).

На рис. 21 показано развитие мульды проседания при строительстве щитовым способом тоннелей одной из трехсводовых станций Ленинградского метрополитена в кембрийских глинах. На поперечном профиле суммированы средние значения осадок при раскрытии левого, среднего и правого тоннелей, при устройстве проемов и проведении монтажных работ. Углы сдвижения равны 47—43° (Лиманов, 1958). На рис. 22 приведен график развития мульды проседания в условиях Бакинского метро (Морозов, 1972). Над перегонными тоннелями оседание в 2—3 раза меньше (10—250 мм), чем над станционными тоннелями (200—800 мм). Максимальное оседание происходит над трехсводовыми подземными станциями больших размеров (в Ленинграде — 800 мм).

Большое влияние на процесс оседания оказывают инженерно-геологические условия, в особенности деформационно-прочностные свойства грунтов. В условиях Ленинграда осадки уменьшаются при увеличении мощности и плотности кембрийских глин, при наличии в них прослоев кварцевых песчаников мощностью до 100 см; осадки увеличиваются в трещиноватых, перемятых кембрийских глинах небольшой мощности. Возрастают осадки при строительстве тоннелей в глубоких эрозионных врезах, заполненных песчано-глинистыми четвертичными образованиями. Эта закономерность типична и для геологических условий Москвы и Киева, где подобные врезы — частое явление. При проходке выработок Московского метро в известняках и мергелях каменноугольного возраста оседание над перегонными тоннелями не превосходит 50 мм, а при проходке в менее прочных юрских глинах составляет 25—200 мм (Сазонов, 1973).

Инженерно-геологические процессы и явления, возникающие при строительстве метрополитена, обычно затрудняют проходку горных выработок, осложняют строительство и эксплуатацию подземных и наземных сооружений, изменяют окружающую геологическую обстановку в сфере влияния метро, часто в нежелательном направлении. В связи с этим проблема изучения, прогнозирования, предупреждения, управления инженерно-геологическими процессами и явлениями и разработка эффективных средств борьбы с ними приобретают большое теоретическое и практическое значение.

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ СО СТРОИТЕЛЬСТВОМ И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ГОРОДОВ, ПЕЩЕР, КАТАКОМБ И ДРУГИХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Подземное пространство издавна использовалось как среда обитания и жизнедеятельности человека. Началось с устройства пещер в склонах, в которых первобытные люди жили и укрывались от непогоды, зверей и своих противников. Позднее стали появляться целые подземные поселения, монастыри, города и пр. Подземные поселения и места обитания можно разделить на две категории: а) специально построенные и б) приспособленные для использования существующие подземные выработки (пещеры, подземные каменоломни, заброшенные горные выработки и др.).

Подземные города, поселения и монастыри имеются в ряде стран. Хорошо известен средневековый город Чуфут-Кале, расположенный в Крыму около Бахчисарая, в котором почти все сооружения и дома вырублены в скалах. Город Чуфут-Кале — один из наиболее крупных пещерных городов Крыма, основан в V—VI вв. В нем располагались крепость, монетный двор, мечети, мавзолей, две караимские кенассы, жилища, рынок, ремесленные мастерские, кладбище и т. п. Подземный город пришел в упадок во второй половине XIX в., в связи с переселением караимов в Бахчисарай. Пещерный город Инкерман с улицами, переулками и площадями расположен около Севастополя. В XII—XV вв. он назывался Каламита и служил крепостью и морской базой княжества Дори. В конце XV в. Каламита был переименован в Инкерман. В Инкермане сейчас располагается самое крупное в мире винохранилище (его площадь — 3 га).

Вардзия — крупный пещерный город-крепость XI—XIII вв.— расположен в Грузии на левом берегу Куры, в 18 км от г. Ахалкалаки. Город включает около 300 высеченных в скале в пять-шесть ярусов помещений культового (монастырь) и светского назначения. Стены главного храма покрыты фресками большой художественной ценности. Вардзия считается выдающимся историческим памятником грузинской культуры XII—XIII вв.

В Киеве, на территории государственного заповедника — Киево-Печерской лавры, существует подземный городок, включающий подземные хода-сообщения, кельи, церкви, склады, погребения и пр. Эти подземные сооружения принято называть пещерами. Общая протяженность пещер составляет 508 м, глубина их заложения — 5—20 м, на отдельных участках пещеры располагаются в два яруса, нижний — в песчаниках полтавского яруса, верхний — в лёссах на глубине 5—10 м. Пещеры сухие, так как расположены выше уровня грунтовых вод. Возраст пещер исчисляется столетиями. Часть пещер была выкопана еще в IX в., до основания Печерского монастыря. За это время под

влиянием процессов подземного выветривания, проникновения атмосферных и сточных вод на ряде участков пещеры стали разрушаться, обваливаться и вызывать провальные явления на поверхности земли. На территории Киево-Печерской лавры расположено более 80 каменных зданий и сооружений, часть из них — над пещерами, в лёссах. Подверглись сильным деформациям знаменитая башня Кушника и прилегающая к ней крепостная стена, построенная в 1702 г., корпус 4, часть территории между Троицкой церковью, колокольней, трапезной, Успенским собором и другие объекты, лично обследованные автором (Котлов и др., 1967).

В Киеве, вдоль правого берега Днепра, на протяжении 100 км расположено около 50 пещер, чаще всего на территории древних монастырей, соборов и церквей. Пещеры разновозрастные, начиная с неолита, использовались для военных, религиозных, хозяйственных и бытовых целей.

В Одессе существуют два города: наземный и подземный. Последний состоит из густой сети катакомб, появление которых в Одессе связано с подземной добычей ракушечного известняка, из которого и построена большая часть города. Катакомбы имеют суммарную протяженность свыше 1500 погонных км, распространены на площади более 900 га как в центре, так и на окраине города, залегают на глубине от 4 до 45 м, иногда в два-три яруса. Размеры катакомб весьма разнообразны, высота их колеблется от 1,5 до 8 м, ширина —0,8—12 м. С поверхностью они связаны вертикальными или наклонными шахтами. По мере роста города увеличивалась сеть катакомб. Под влиянием внешних воздействий, сил горного давления и эндолитогенных процессов катакомбы стали деформироваться и разрушаться.

С катакомбами связан специфический спектр антропогенных геологических процессов и явлений: подземное выветривание, раздавливание целиков, развитие трещиноватости (размер трещин от 1 мм до 50 см), отслоение, вывалы, формирование куполов обрушения в кровле (диаметром до 6 м и глубиной 2—3 м), завалы, боковой выпор, конденсация влаги, выщелачивание, карст, прорыв грунтовых и поверхностных сточных вод, затопление выработок, накопление антропогенных субтерральных отложений, сдвижение грунтов в массиве, образование мульд проседания, провалов поверхности с образованием воронок и, как следствие, деформации и разрушение наземных зданий и сооружений, разрыв подземных сетей, водопровода, канализации и др. Подземная Одесса в последние годы «заговорила» и стала оказывать влияние на наземную Одессу, наносить огромный ущерб городу. Только за пять лет, с 1958 по 1963 г., деформировано 276 зданий, расположенных над катакомбами (рис. 23).

Перечисленные выше процессы и явления детально были изучены коллективом сотрудников ПНИИИСа под руководством

автора. Были выполнены стационарные исследования подземного климата в катакомбах, показавшие стабильность температуры воздуха (12—12,5° С), относительной влажности (W=100%) и давления (1007,5—1019,2 мб).

Как показали наши исследования, бо́льшая часть процессов развивается избирательно, в зависимости от инженерно-геологических условий и состояния выработок. Установлено, что деформации возрастают с уменьшением глубины заложения, увеличением размеров выработанного пространства, увеличением числа катакомб, с ростом статических и динамических нагрузок на поверхности, с уменьшением прочности известняков на участках обводнения грунтовыми, атмосферными и сточными водами, в местах карстовых проявлений. Эти выводы позволяют более обоснованно изыскателям и проектировщикам оценивать устойчивость городских территорий и возможность их строительного использования и намечать мероприятия по укреплению и рациональному использованию катакомб.

Нужно осуществлять правильную техническую политику по использованию для нужд города катакомб, которые во время Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. широко использовались партизанами и населением города как убежища.

В Одессе широко распространены так называемые мины — подземные склады и погреба, заложенные в лёссовых грунтах на глубине 1,5—10 м и имеющие высоту 1—2,8 м, ширину 1,2—2,5 м и протяжение от 3 до 50 м. В городе насчитывается до 800 мин. В системе мин развиты такие процессы и явления, как выветривание, размокание, просадка лёссовых грунтов, обрушение свода и стен, прорыв вод, накопление антропогенных субтерральных отложений, сдвижение грунтов в массиве, проседание поверхности, иногда с образованием провальных воронок. Эти явления вызывают случаи деформации и разрушения зданий и сооружений, причем наиболее часто после ливней. Бо́льшая часть мин находится в безнадежном состоянии, они разрушаются и превращаются в «язвы» города.

Подземный городок с улицами, переулками и площадями расположился в больших подземных разработках известняка-ракушечника близ г. Кишинев в Криковских каменоломнях. Он используется как база для хранения вина, фруктов и солений. Здесь круглый год выращивают шампиньоны. Стабильный подземный климат катакомб и каменоломен исключительно благоприятен для надежного хранения вина, фруктов и овощей.

Одесским руководителям полезно было бы взять на вооружение молдавский опыт, так как одесские катакомбы — это богатство города, которое почти не используется для хозяйственных нужд. Катакомбы, пещеры и каменоломни имеются в Евпатории, Керчи, Полтаве и других городах СССР.

Подземные города, пещеры и катакомбы имеются в Париже, Риме, Неаполе, Берлине, Дамаске, Матере, Тунисе, Александрии, Сиракузах, Валиме и др.

В Париже со времен древних римлян и до конца XVIII в. подземным способом добывался известняк, из которого построены многие здания и сооружения города. В связи со случаями обрушения кровли выработок, приводивших к разрушению зданий, указом Наполеона I была запрещена подземная добыча известняка в черте города. По современным данным, подземные разработки занимают 21 тыс. га, или 20% всей площади Парижа и пригородов. В последние годы участились обрушения кровли подземных выработок, явления сдвижения грунтов, провалы поверхности, деформации и повреждения зданий и сооружений.

В 1961 г. в парижском пригороде Кламар произошел провал, в результате которого было разрушено несколько жилых домов. Катастрофы можно было бы избежать, если бы при жилищном строительстве не были допущены технические просчеты в проектировании оснований и фундаментов. Для повышения устойчивости зданий, построенных над катакомбами, требуются работы по укреплению пород оснований и по усилению фундаментов. Подземные карьеры в Париже активизируют антропогенный гипсово-карбонатный карст, усиливают загрязнение подземных вод и осложняют новое наземное и подземное строительство. Остро встала проблема сохранности зданий, расположенных над катакомбами.

Рим (основан в 754 г. до н. э.) имеет катакомбы суммарным протяжением 800 км. Их начали строить как подземные кладбища еще в I—IV вв. н. э. В окрестностях Рима насчитывается 44 подземных христианских кладбища. Катакомбы располагаются в два-четыре этажа на глубине от 7 до 25 м от поверхности земли, подземные галереи обычно узкие, пересекаются под прямым углом, вырыты они в вулканических туфах, выше уровня грунтовых вод.

В Неаполе, возникшем 20 веков назад, так же под застройкой расположена густая сеть катакомб, и в этом городе деформируются и разрушаются здания и сооружения. В катакомбах известны росписи начала нашей эры, имеющие историческое значение. Во время второй мировой войны катакомбы использовались как бомбоубежища.

Дамаск относится к тем городам мира, в которых развиты процессы сдвижения массива пород, обрушения, провалы зданий и сооружений в связи с деформациями подземных выработок (катакомб). Дамаск — один из самых древних городов мира.

Первые сведения о нем относятся к XVI в. до н. э. Столетиями для строительства города из недр земли добывались известняки и силикатные породы. Выработки разного сечения

Рис. 23. Разрушение дома в связи с деформацией катакомб, г. Одесса

располагались бессистемно в два-три яруса, нередко с маломощной кровлей до 3—5 м. Деформации катакомб связаны с процессом подземного выветривания и антропогенными воздействиями на породы кровли (утечка воды из подземных сетей, поливы, вибрации и пр.), с потерей прочности породами, представленными щебнисто-суглинистым делювием. В городе наблюдались случаи полного разрушения зданий, с человеческими жертвами.

В итальянском пещерном городе Матера проживает около 10 тыс. жителей. Пещеры длиной 30 м, шириной 15—20 м и высотой 6—7 м в несколько ярусов врублены в отвесную скалу, состоящую из легко разрабатываемого туфа.

Подземные города известны в Польше, ГДР, ФРГ, Югославии и других странах.

В последние годы вблизи крупных городов стали устраивать подземные хранилища пресных вод, нефти, газа, керосина, бензина, кислот, щелочей и иных флюидов. В США сооружено более 500 подземных емкостей для хранения нефти и сжиженных газов. Общая емкость подземных газонефтехранилищ — 24 млн. м^3, около 90% размещено в полостях, размытых в пластах каменной соли.

Около г. Маноск (юг Франции) методом подземного выщелачивания на глубине до 1000 м в толще соляных пород мощностью 500—800 м созданы искусственные емкости для подземного хранения нефти. Диаметр полостей достигает 60—70 м. Общая емкость полостей составляет 5 млн. м^3.

В СССР подземные хранилища газа, нефти и других флюидов создаются вокруг крупных городов (Москва, Ленинград, Баку, Грозный и др.).

В Азербайджане строится крупнейшее в Европе подземное хранилище природного газа[2] емкостью до 2 млрд. м^3.

Расширяются работы по подземному магазинированию пресных вод. Устройство подземных хранилищ не пройдет бесследно для природной геологической среды. Неизбежны антропогенные изменения природных геохимических, гидродинамических, гравитационных и иных физических полей, которые могут оказать соответствующее влияние на природную геосреду городов. Антропогенные процессы, связанные с устройством подземных хранилищ флюидов, совершенно не изучены. Необходимы теоретические, методические, экспериментальные исследования и стационарные наблюдения этих процессов.

В крупных городах мира все шире стали использовать подземное пространство для строительства подземных автомобильных, пешеходных дорог, пересечений, некоторых промышленных, коммунальных, торговых, культурных и других предприятий и объектов.

В Москве построено более 150 пешеходных и десятки транспортных тоннелей и развязок на разных уровнях, большое число подземных гаражей. Намечается увеличить протяженность линий метрополитена до 320 км, а в перспективе — до 450 км, построить подземные скоростные автодороги протяженностью 100—150 км. Под многими высотными зданиями (пл. Восстания, Котельническая набережная, проспект Калинина, гостиница «Россия» и др.) уже построены гаражи, склады, кафе, магазины и другие объекты. При участии 25 проектных институтов и НИИ закончена разработка генеральной схемы использования подземного пространства Москвы. Предстоят грандиозные работы по подземному строительству на нескольких вертикальных уровнях (Инженеро-геологические проблемы градостроительства, 1971). В Киеве еще в 1969 г. создана первая подземная пешеходная улица протяжением 100 м: под Крещатиком, в районе пл. Калинина, расположились кафе, магазины и киоски.

Развертывается подземное градостроительство в Ленинграде, Новосибирске, Баку, Горьком, Харькове, Свердловске, Ташкенте, Тбилиси, Омске, Сочи, Ялте и других крупных городах СССР. Будут составлены схемы использования подземного пространства во всех городах с населением более 100 тыс. человек.

В некоторых случаях для нужд города используются существующие горные выработки. В новом городе горняков

---

[2] «Правда», 1971, 13 августа.

Днепрорудном на глубине 480 м открыто подземное кафе «Кристалл» с двумя залами высотой 4 м.

Заслуживает внимания опыт г. Вильнюса по использованию и переоборудованию многочисленных подвалов зданий в места отдыха, музеи, кафе, магазины, винные погребки и пр.

В Польше, в Краковском воеводстве, на соляном промысле в г. Величка, на глубине 135 м работают музей и почтовое отделение. В Венгрии, в пещере Беке-Барланд, в просторных подземных залах разместился санаторий, где лечат больных астмой и силикозом. В СССР, в Солотвино, в соляных копях также создан подземный санаторий для лечения астмы.

В г. Тархновске Гуры (Польша), в бывших рудниках, где с XVI в. добывались серебро и цинк и образовались галереи протяженностью в 150 км и каналы, по которым можно плавать на лодках, создан подземный горный музей.

Проблема использования отработанного подземного пространства шахт и рудников для размещения городских объектов весьма актуальна и заслуживает внимания градостроителей. В этом отношении в СССР перспективны города горнодобывающей промышленности (Донбасс, Кузбасс, Мосбасс и др.), где имеются большие резервы отработанных горных выработок.

Значительные работы по подземному градостроительству намечены и осуществляются в социалистических странах, во Франции, Англии, Канаде, США, Японии, Италии и других государствах. В планах градостроительного использования подземного пространства имеются проекты почти полного переселения городов под землю, когда на поверхности земли почти не сохраняются здания, подземное пространство становится основной средой обитания человека (проект архитектора М. Абрамовича для Питсбурга и др.; Голубев, 1973). Такие проекты оторваны от реальной действительности.

Субтерральные антропогенные геологические процессы и явления относятся к категории наиболее сложных и наименее изученных геодинамических процессов. В связи с расширением фронта подземного градостроительства необходимо больше внимания уделять изучению условий формирования и прогнозированию этих процессов и явлений. Разработка мер борьбы и предупреждения отрицательных процессов и явлений — актуальная задача инженерной геологии.

АНТРОПОГЕННЫЙ ЛИТОГЕНЕЗ

Термин «антропогенный литогенез» понимается как геологический процесс формирования наиболее молодых в геологической истории Земли образований, связанных с инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

В литературе эти образования называются по-разному: «искусственные», «техногенные», «насыпные», «антропогенные». Автор предпочитает их называть антропогенными отложениями.

Наша планета по последним археологическим данным на протяжении примерно 3—4 млн. лет служит средой обитания человека. Исторически антропогенный литогенез развивался в несколько этапов в неразрывной связи с трудовой деятельностью человека, эволюцией его материальной культуры и техники, ростом численности населения и производства.

Хронологическую стратификацию антропогенных отложений, по-видимому, целесообразно синхронизировать с периодизациями, принятыми в четвертичной геологии, антропологии, археологии и истории. Основными этапами в истории антропогенного литогенеза были этапы развития человеческого общества — первобытного, рабовладельческого, феодального, капиталистического и социалистического,— с которыми связаны эволюция, скачки и этапы технического прогресса, оказавшие влияние на процессы формирования антропогенных отложений. Нельзя также не учитывать рост народонаселения и его территориальное размещение. К началу палеолита на планете проживало всего несколько миллионов человек, в 1000 г. н. э.— около 300 млн., в 1800 г.— 910 млн., в 1900 г.— 1620 млн., в 1975 г.— 4290 млн. человек.

Основные направления антропогенного литогенеза. Как и в природном геологическом процессе литогенеза, в антропогенном литогенезе выделяются три стадии: разрушение пород, перемещение разрушенного материала и новое породообразование.

Средой антропогенного литогенеза служат суша и водоемы, в связи с чем выделяется континентальный и аквальный литогенез.

Человек оказывает влияние на процессы литогенеза в трех основных направлениях: в образовании новых типов антропогенных отложений, количественном и качественном изменении природных литогенетических процессов (осадкообразования и пр.) и в местном прекращении седиментогенеза, вызванном уничтожением и засыпкой рек, озер и болот.

Антропогенный литогенез и природная среда едины и взаимосвязаны. Антропогенные фазы диагенеза, эпигенеза и гипергенеза естественных осадков и пород рассмотрены автором в других работах (Котлов, 1970, 1972, 1975).

Факторы и условия антропогенного литогенеза. Антропогенный литогенез бывает стихийным и целенаправленным. По условиям образования он подразделяется на субаэральный (поверхностный), субтерральный (подземный) и аквальный (водный).

Антропогенный литогенез — многогранный и многофакторный процесс. Он связан с самыми разнообразными видами

деятельности человека, которые в какой-то степени профилируют литогенез.

Масштабы и объемы антропогенного литогенеза. Антропогенный литогенез приобретает глобальное распространение. Процесс накопления антропогенных отложений по объему и скорости стал сопоставим с естественными литогенетическими процессами, а по некоторым показателям — и превосходит их (Сидоренко, 1974). Приведем ряд примеров. Из недр ежегодно извлекается и перераспределяется на поверхности земли 6 км^3 горных пород. Сюда входят породы, извлекаемые при добыче полезных ископаемых и при производстве земляных строительных работ. Через каждые 15 лет объем добычи полезных ископаемых удваивается.

В СССР в 1970 г. открытым способом добывалось полезных ископаемых 70%. Объем горных работ с учетом вскрыши составил 7,5 млрд. т, или 3 млрд. м^3 в год (Мельников, 1974).

По ориентировочным данным М. И. Хазанова (1976), при строительстве городов, поселков и деревень к 1964 г. на Земле перемещено 86124 км^3 грунта. За истекшие 150 лет при производстве горнотехнических работ извлечено из недр по неполным данным более 1520 км^3 грунта. Ежегодно на поверхности земли накапливаются миллиарды тонн промышленных, хозяйственных и бытовых отходов. Только Москва поставляет ежегодно более 1 млн. т твердых отходов. В США в твердые отходы ежегодно поступает 7 млн. автомашин, 100 млн. автопокрышек, 48 млрд. консервных банок, 28 млрд. бутылок, 20 млн. т бумаги и т. п.

В городах СССР намыто более 5 тыс. га. Только в Омске с 1959 по 1973 г. намыто семь участков площадью 3 км^2, мощностью 2—9 м (Барац, 1974).

Только шлака за последнее столетие накопилось около 20 млрд. т; в атмосферу выброшено более 3 млрд. т золы в виде аэрозолей и несколько миллиардов кубометров углекислоты и сернистого газа. Ежегодно в атмосферу поступает до 1 км^3 пыли. Человек ежегодно перерабатывает на полях более 6000 км^3 почвы.

Если проинтегрировать объемы всех перемещений пород и накоплений различных отходов, станет ясным, какие колоссальные масштабы приобрел процесс антропогенного литогенеза. Для сравнения укажем, что все реки земного шара выносят в год осадков около 15 км^3. Скорости накопления антропогенных отложений стали превышать скорости выноса осадков с суши в Мировой океан.

Классификация антропогенных отложений. Длительное время все разнообразие антропогенных отложений определяли одним понятием «насыпь». Позднее стали выделять песчаную насыпь, глинистую насыпь и свалки.

С конца 40-х годов текущего века стали появляться более детальные и обстоятельные классификации (Ф. П. Саварен-

ский — 1937 г., Н. Н. Лущихин — 1938, Ф. В. Котлов — 1947, 1959, 1962, 1963 гг., Е. М. Сергеев — 1952, 1959, 1973 гг., Ю. М. Абелев и В. И. Крутов — 1958, А. М. Дранников — 1959 г., И. К. Сипягина — 1972 г. и др.). Антропогенные отложения стали типизировать в разных аспектах. К показателям, которые могут быть использованы при классификации, относятся генезис, возраст, место и условия образования, распространение, мощность, состав, однородность, состояние, деформируемость, прочность, использование, инженерно-геологическая оценка и др. Классификации могут быть общими, частными и региональными. Имеют право на существование не одна, а несколько классификаций, причем все они могут приносить пользу.

В 1974 г. автором разработана новая, генетическая по своей основе, инженерно-геологическая классификация антропогенных отложений (табл. 4), в которой выделено четыре таксона: группа, генетический комплекс, класс и вид. По условиям образования выделены три группы отложений: субаэральные (наземные), субаквальные (подводные) и субтерральные (подземные). Выделено семь генетических комплексов: 1) насыпные, 2) намывные, 3) отложения искусственных водоемов, 4) искусственные подводные грунты, 5) измененные водные осадки естественных водоемов, 6) грунты, искусственно преобразованные в естественном залегании, 7) привнесенные в грунты материалы и конструкции и стихийное накопление подземного культурного слоя.

В составе семи комплексов по более детальным и более конкретным генетическим критериям выделено 19 классов антропогенных отложений. Так, например, в комплексе насыпных грунтов выделены классы строительных, горных, промышленных и хозяйственно-бытовых отложений. В составе некоторых классов выделены виды отложений. Для всех выделенных таксономических подразделений указаны способы образования, вещественный состав, инженерно-геологические особенности и дана оценка антропогенных отложений. Указаны интегральные баллы однородности и прочности. Эта классификация является продуктом развития генетической классификации автора 1963 г. (Котлов, 1963). В интегральных баллах степени однородности и степени прочности сделана первая попытка в обобщенном виде, сугубо ориентировочно, в количественной форме выразить качество антропогенных отложений. Указанные баллы только приближенно ориентируют изыскателя и проектировщика, как надо подходить к детальным изысканиям и к использованию пестрых и сложных антропогенных отложений в строительстве и благоустройстве.

Распространение антропогенных отложений. Они формируются во всех местах обитания человека и приобретают планетарный характер. Первое место занимают субаэральные, второе — субаквальные и последнее — субтерральные отложения.

Наибольшее развитие антропогенный литогенез получил в ряде индустриально развитых стран Европы и Северной Америки, в Японии и др.; наименьшее — в аграрных странах. Широкое распространение его характерно для урбанизированных агломераций, для крупных, средних и особенно древних городов, промышленных, горнодобывающих комплексов, наименьшее — в сельских поселениях и в малых городах. По характеру распространения выделяются региональные, крупноплощадные, местные, очаговые, линейные и точечные отложения.

Мощность антропогенных отложений измеряется в широких пределах от 0 до сотен метров. В засыпанных глубоких шахтах мощность их достигает 1000 м. В терриконах мощность насыпных грунтов в Англии в Уэльсе достигает 300 м, в США, в штате Флорида,—100, в СССР, в Донбассе,—80—100, в Кузбассе — 10—80, в Караганде —10—50 м. Мощность крупных грунтовых отвалов из карьеров при добыче полезных ископаемых достигает 100—150 м, чаще исчисляется метрами и десятками метров. Мощность грунтов в хвостохранилищах до 30—50 м, намывных грунтов 2—50, чаще 2—8 м.

Значительные мощности антропогенных отложений в городах приурочены к засыпанным долинам рек, оврагам, балкам, старицам, болотам, прудам, карьерам, колодцам и другим выемкам (рис. 24). Для ряда городов, по данным автора (Кот-

Рис. 24. Засыпка грунтом верховья Наводницкой балки, г. Киев

лов, 1975б), они составляют (в м): для Одессы — 45, Киева — 44, Баку — 40, Москвы — 24, Воронежа — 20, Ташкента — 18, Волгограда — 17, Новгорода — 14, Саратова — 12, Ленинграда — 10, Лондона — 25, Сан-Франциско — 23, Парижа — 20 и т. д.

В центральных и давно обжитых районах крупных и древних городов культурный слой залегает сплошным покровом и имеет мощность 2—8 м, на окраинах он образует линзы мощностью 0,5—2 м. В малых и молодых городах и сельских поселениях антропогенные отложения находятся в первоначальной стадии формирования и не имеют сплошного покрова, мощность их незначительна.

В составе антропогенных отложений содержатся все элементы таблицы Менделеева. Химический состав их значительно шире, чем у естественных горных пород. В эпоху научно-технической революции человеком создано огромное количество новых химических элементов, изотопов, соединений, минералов, пород, почв, различных материалов, сред и т. п. По данным академика А. П. Виноградова (1973), человеком сбрасывается с отходами в окружающую среду около 600 000 разнообразных химических веществ.

Укрупненно в составе антропогенных отложений можно выделить три группы фаций: а) грунтовые, б) искусственно созданные и в) отходы жизнедеятельности и обитания человека. Наиболее однородные по составу первые две группы фаций.

По степени однородности и пространственной выдержанности вещественного состава антропогенные отложения нами дифференцируются и оцениваются по трехбалльной системе:

Относительно однородные, 3 балла	Средней однородности, 2 балла	Весьма неоднородные, 1 балл
Субаквальные отложения искусственных водоемов (водохранилищ, каналов, прудов и др.).	Грунтовые отвалы переменного состава. Отходы обогатительных предприятий и различных производств средней отсортированности. Необратимо мелиорированные грунты. Искусственные покрытия поверхности земли	Наземные и подводные хозяйственно - бытовые свалки.
Намывные грунты (строительные, горные, промышленные).		Пестрые отходы разных производств свалочного типа.
Специально уложенные грунты земляных сооружений.		Стихийно накапливаемые наземные и подземные культурные слои переменного состава.
Производственные отходы однородного состава (шлаки, золы, др.).	Грунты в естественном залегании, преобразованные в результате добычи полезных ископаемых. То же, в результате подземных пожаров	Отложения современных кладбищ (людей и животных).
Однородные грунтовые отвалы.		Подземные остатки городов, поселений, сооружений, разрушенных землетрясениями, войнами, пожарами, засыпанных песками, затопленных морями
Искусственные пляжи		

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И СТРОИТЕЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

К оценке антропогенных отложений вследствие их пестроты и неоднородности следует подходить дифференцированно. Среди них встречаются отложения с высокими и с очень низкими прочностными свойствами.

Ниже приводится оценка прочности и несущей способности некоторых типов антропогенных отложений.

Прочные, 3 балла	Среднепрочные, 2 балла	Непрочные, 1 балл
Шлаки и металлический лом.	Грунтовые отвалы скальных, полускальных, крупнообломочных песчано-глинистых пород.	Хозяйственно - бытовые наземные и подводные свалки мусора.
Специально уложенные и уплотненные грунтовые насыпи и земляные сооружения.	Хвостохранилища.	Производственные древесные, пищевые, текстильные, бумажные, кожевенные и др. нестойкие отходы.
Погребенная каменная кладка.	Терриконы.	Свежеосажденные рыхлые илы антропогенных водоемов.
Намывные песчаные и супесчаные грунты.	Подводные грунтовые сооружения.	Подводные свалки дисперсных грунтов.
Наземные минеральные покрытия дорог, улиц, дворов.	Горные гидроотвалы.	Заброшенные недавнего времени погребения людей и животных.
Необратимо мелиорированные грунты.	Специально уложенные производственные твердые отходы из стойких материалов.	Беспорядочная смесь грунта с мусором свалочного характера: засыпанные овраги, балки, речные долины, старицы, болота, пруды, карьеры, шахты, колодцы и другие выемки
Древний культурный слой плотного сложения.	Молодой среднеуплотненный культурный слой.	
Крупнообломочные и песчаные отложения антропогенных водоемов.	Грунты мульд проседания.	
	Глинистые отложения антропогенных водоемов.	

В целом, за небольшим исключением, антропогенные отложения следует отнести к наиболее сложным, пестрым и малоблагоприятным в строительном отношении типам геологических образований, требующих дифференцированного подхода, детальных и специальных исследований. К основным недостаткам многих типов этих отложений относятся пестрота состава, текстуры, мощностей, состояния, физико-механических свойств, наличие нестойких органических, агрессивных и токсических составляющих, причем особенно неудовлетворительны отложения свалочного характера.

Антропогенные отложения в строительной практике стали использовать еще в древности. В античное время многие сооружения строились на насыпных грунтах (крепости, храмы, дворцы, стадионы, дороги, первые водопроводы и пр.).

В Москве каменные стены и башни Кремля на отдельных участках в 1485—1495 гг. были построены на насыпном основа-

нии. Часть знаменитого храма Василия Блаженного в 1554—1560 гг. возведена на песчаной насыпи. Подобных примеров можно привести много. В современном строительстве антропогенные отложения еще шире используются в качестве оснований, среды и материала сооружений (Котлов, 1947). Этот процесс усиливается из-за дефицита свободных земель в больших городах и лавинного характера накопления антропогенных отложений. В Москве на антропогенных грунтах построены сотни зданий и сооружений. Особенно широко стали использовать намывные грунты мощностью 2—10 м, на которых возведены целые микрорайоны, большие многоэтажные жилые массивы со всеми видами благоустройства в ряде городов СССР (Ленинград, Киев, Ярославль, Москва, Омск, Архангельск, Северодвинск и др.) и зарубежных стран (Токио, Осака, Бостон, Нью-Йорк, Сан-Франциско, Лондон, Марсель, Ницца, Венеция, Гаага, Роттердам и многие другие). Значительная часть прибрежной территории Нидерландов опускается и имеет отметки ниже уровня моря, в связи с чем приходится ее защищать намывом грунтов.

Использование антропогенных отложений в строительной практике все же сопряжено с большими трудностями. Известно много случаев неудачного строительства на этих грунтах, что связано с низким уровнем изысканий, с ошибками в оценке, расчетах, прогнозах, с некачественным проектированием и строительством. В СССР проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых на насыпных грунтах, нормируется соответствующими техническими указаниями (1975).

ПРОБЛЕМЫ АНТРОПОГЕННОГО ЛИТОГЕНЕЗА В СВЯЗИ С ОХРАНОЙ И УЛУЧШЕНИЕМ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Антропогенный литогенез оказывает влияние на состояние таких компонентов природной среды, как атмосфера, рельеф, почвенный, растительный покров, поверхностная и подземная гидросфера, микроклимат, грунты, геодинамические процессы и явления. Процессы антропогенного литогенеза играют существенную роль в изменении природных и в формировании антропогенных ландшафтов различного типа. Например, великаны-терриконы высотой до 100—300 м, горные отвалы высотой до 100—150 м, мощные отвалы промышленных отходов служат составными элементами антропогенных ландшафтов промышленных и горнодобывающих районов (рис. 25, 26, 27). Только в СССР насчитываются тысячи терриконов. Они порождают такие отрицательные явления, как обвалы, осыпи, оползни, оплывины, взрывы, развевание, запыление атмосферы. Многие терриконы горят, загазовывают и повышают температуру воздуха, ухудшают микроклимат. В Уэльсе обвал террикона высотой 300 м вызвал гибель 120 человек. Антропогенные образования усиливают

Рис. 25. Общий вид террикона на ул. Щорса, г. Донецк (фото И. К. Сипягиной)

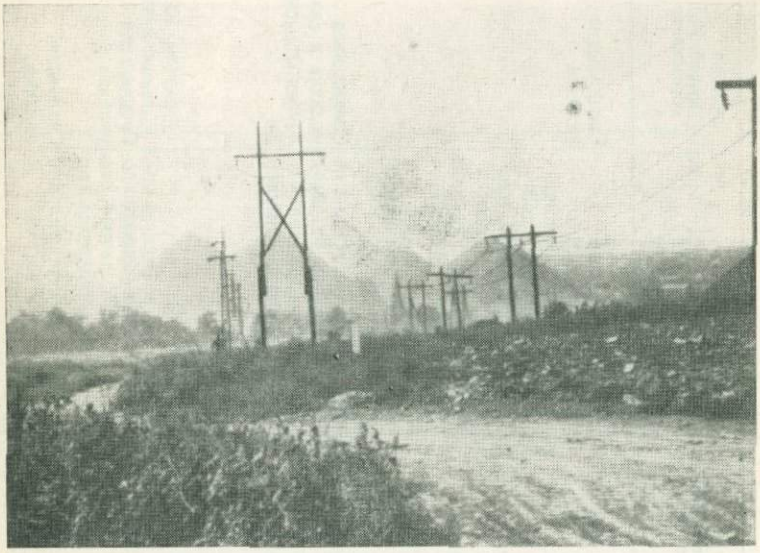


Рис. 26. Терриконы, г. Донецк (фото И. К. Сипягиной)

Таблица 4

Инженерно-геологическая классификация антропогенных отложений

Группа	Генетический комплекс	Класс и вид*	Способ образования	Вещественный состав	Интегральный балл однородности	Инженерно-геологические особенности и оценка	Интегральный балл прочности
I. Субаэральные (наземные)	1. Насыпные	1). Строительные а. Грунты насыпных террас, стройплощадок, земляных сооружений (дамб, плотин, валов, дорожных насыпей, древних городищ, крепостей, болверков и др.), подсыпок, песчаных подушек и пр.	Специальная укладка	Крупнообломочные, песчаные, глинистые, лёссовые, торфяные	3	По условиям распространения выделяются крупноплощадные, линейные и очаговые. Относительно однородные по составу и сложению; чем древнее, тем прочнее, тем $>E$, C, φ, торфяные — малопрочные	3
		б. Грунтовые отвалы из строительных выемок (котлованов, траншей, каналов, прудов и др.)	Специальная укладка и свалочная отсыпка	Все типы грунтов, состав которых определяется местными геологическими условиями	2	Относительно однородный состав и свойства, прочность ослаблена нарушением структуры; специально уложенные с послойным уплотнением могут использоваться в качестве основания несложных сооружений	2
		в. Наземные покрытия дорог, улиц, дворов, стадионов, аэродромов и пр.	Специальная укладка	Асфальт, бетон, битум, минеральные смеси, булыжник, брусчатка, щебень и пр.	2	Покрытия укатаны, уплотнены, характеризуются повышенной прочностью	3
		г. Отходы строительного производства	Свалочная отсыпка	Битый кирпич, камень, стекло, бетонные, металлические, деревянные отходы, известь и прочий строительный мусор	1	Непригодны для строительного использования	1

2). Горные Грунтовые отвалы из подземных и поверхностных выработок при добыче полезных ископаемых	Свалочная отсыпка и специальная укладка	Все типы грунтов, разрабатываемых при добыче полезных ископаемых	3,2	Относительно однородные, исходные прочностные свойства снижены в связи с нарушением структуры	2
3). Промышленные Отходы разных производств	Свалочная отсыпка и специальная укладка	Шлаки, золы, формовочные земли, хвосты обогатительных фабрик, металлические, древесные (опилки, щепа, стружка и пр.), кожевенные, пищевые, бумажные, текстильные, химические и другие отходы различных видов производства	1,2; 3	Состав и свойства отходов профилируются видами производства и способами отсыпки. Более надежными могут быть шлаки, металлические отходы, хвосты обогатительных фабрик. Малонадежны и ненадежны древесные, пищевые, кожевенные, химические и другие отходы пестрого состава с большим содержанием органики, агрессивных компонентов и других веществ, нестойких в зоне аэрации. Древние, сложившиеся, однородные отходы более благоприятны для строительного и хозяйственного освоения	1,2, 3
4). Хозяйственно-бытовые (селитебные)					
а. Курганы, могильники	Специальная укладка	Переотложенные песчано-глинистые грунты	3	Имеют плотное сложение, малую сжимаемость, высокую прочность	3

Таблица 4 (продолжение)

Группа	Генетический комплекс	Класс и вид	Способ образования	Вещественный состав	Интегральный балл однородности	Инженерно-геологические особенности и оценка	Интегральный балл прочности
I. Субаэральные (наземные)	1. Насыпные	б. Площадной культурный слой населенных мест	Стихийное накопление (наслоение)	Беспорядочная смесь различных переотложенных грунтов хозяйственно-бытовых отходов, остатков городского и сельского благоустройства	1	Пестрота состава, свойств, мощностей понижает строительные качества. В древних и крупных городах на давно обжитых территориях имеет сплошной покров, относительно выдержанную мощность и повышенную плотность и часто используется как основание зданий и сооружений	2,3
		в. Свалки хозяйственно-бытовых отходов, мусора	Свалочная отсыпка	Пестрая свалочная смесь селитебного мусора. Свалки изношенных машин, остатков разрушенных зданий и сооружений	1	Не рекомендуются для строительного использования. Свалки — очаги загрязнения среды, язвы города — подлежат рекультивации	1
	2. Намывные	1). Строительные Намывные земляные сооружения и площади для застройки и благоустройства	Способы гидромеханизации (гидротранспортирование)	Песчаные и супесчаные смеси речных, озерных, морских и других естественных отложений	3	Наиболее однородные по мощности, составу, текстуре и свойствам. Возможно регулирование состава и свойств в заданном направлении. Наиболее надежны для строительного использования и благоустройства	3

		2). Горные Гидроотвалы вскрышных грунтов из карьеров	То же	Пульпо-водные смеси различных типов разрабатываемых дисперсных пород	3	Пульпой заполняются депрессии в рельефе. Мощность может достигать десятков метров. Прочностные свойства зависят от величины остаточной влажности массива, их можно регулировать. Чаще используются для нужд сельского хозяйства и благоустройства (сады, скверы, спортивные площадки и пр.)	2
		3). Производственные Гидротранспортированные по трубам дисперсные отходы предприятий (золы и пр.), гидронамывные хвостохранилища	То же	Состав зависит от профиля производства. Зольные отходы однородны. Встречаются смеси пестрого состава	2	Водная сортировка отходов несколько выравнивает пестроту состава, текстуры и свойств. Мощности более выдержаны. Строительное освоение затруднено, хозяйственное — возможно	2
		4). Хозяйственно-бытовые Гидротранспортированные по трубам хозяйственно-бытовые отходы	То же	Пестрая мусорная смесь	1	Для строительного освоения непригодны. Могут использоваться для вертикальной планировки местности	1
II. Субаквальные (подводные)	1. Отложения искусственных водоемов	1). Отложения водохранилищ, прудов, каналов, болот	Естественный процесс водного породообразования в антропогенной гидрографической сети	Гравийно-галечниковые, песчаные, глинистые, органо-минеральные отложения (гиттии, сапропели, торфяники и др.)	3	По составу, текстуре, структуре и свойствам близки, но отличны от субаквальных естественных грунтов, что обусловлено спецификой	1, 2

Таблица 4 (продолжение)

Группа	Генетический комплекс	Класс и вид	Способ образования	Вещественный состав	Интегральный балл однородности	Инженерно-геологические особенности и оценка	Интегральный балл прочности
II. Субаквальные (подводные)						режима антропогенных водоемов. Строительное освоение грунтов бывших и действующих водоемов резко различается. Затруднено строительство на рыхлых илах и органо-минеральных отложениях. Более благоприятны гравийно-галечниковые и песчаные отложения	
	2. Подводные искусственные грунты	1). Грунты подводных сооружений (дамб, плотин, судоходных каналов) и искусственных оснований, военных, гидротехнических, нефтепромысловых и других сооружений, искусственных островов и т. п.	Намывная и насыпная укладка грунтов под водой и над водой	Крупнообломочные скальные, полускальные, гравийно-галечковые, песчаные и глинистые грунты	3	Грунты подводных сооружений подвержены гидравлическому взвешиванию, размыву волнами и течениями, что усложняет их эксплуатацию	2
		2). Подводные грунтовые отвалы и свалки	Специальная укладка и свалочный сброс	Местные переотложенные и привозные скальные, полускальные, рыхлые грунты разнообразного состава	2,1	Не используются в строительной практике	—

	3). Подводные мусорные свалки	Свалочный сброс	Производственные и хозяйственно-бытовые отходы пестрого состава	1	То же	—
3. Измененные под влиянием антропогенных факторов грунты естественных водоемов	1). Осадки на дне рек, озер, морей и океанов с участием антропогенных компонентов, поступающих с суши со сточными водами, с загрязненными подземными водами и из загрязненной атмосферы (аэрозоли)	Седиментация механическая, химическая, биогенная с участием антропогенных компонентов	Состав водных осадков весьма разнообразен и обусловлен биогеохимическим и механическим профилем внешних антропогенных поступлений	2,3	Седиментация в реках происходит по всему профилю дна реки, в крупных озерах, морях и особенно в океанах наиболее активно — в заливах, бухтах, вблизи устьев рек, в зонах контакта с крупными городами и промышленными центрами — поставщиками загрязнений. Осадки преимущественно рыхлого сложения и нередко токсичные	1
III. Субтерральные (подземные)						
1. Грунты искусственно преобразованные в естественном залегании	1). Строительные Грунты необратимо мелиорированные, с коренным изменением состава, структуры и свойств	Мелиорирование грунтов обжигом, силикатизацией, цементацией, ожелезнением, смолизацией, битумизацией и другими способами мелиорации	Скальные, полускальные, крупнообломочные, песчаные, лёссовые и глинистые грунты с необратимым изменением состава, состояния, структуры и свойств в заданном направлении	2,3	Рыхлые песчано-глинистые грунты превращаются в скальные и полускальные, водо- газонепроницаемые, непросадочные, ненабухаемые грунты. Трещиноватые, закарстованные, дислоцированные, выветрелые — приобретают монолитность	2,3
	2). Горные					
	а. Грунты, необратимо преобразованные при подземной добыче полезных ископаемых	Проходка подземных выработок с обрушением кровли	Все типы магматических, метаморфических и осадочных грунтов, коренным образом изменен-	2	Обрушение кровли и сдвижение вышележащих грунтов сопровождается нарушением их	2

Таблица 4 (продолжение)

Группа	Генетический комплекс	Класс и вид	Способ образования	Вещественный состав	Интегральный балл однородности	Инженерно-геологические особенности и оценка	Интегральный балл прочности
III. Субтерральные (подземные)		горным способом		ные при их подземной разработке		текстуры, структуры, состояния и свойств, образованием мульд проседания, трещин, провальных воронок. Понижается прочность горного массива на подработанных территориях	
		б. Грунты, преобразованные при подземной добыче полезных ископаемых способами подземного растворения	Подземное растворение водой, кислотами, щелочами	Различные типы вмещающих и контактовых грунтов, измененные в результате растворения, последующего обрушения и сдвижения кровли	2	Выщелачивание растворимых компонентов, образование антропогенного карста, обрушение и сдвижение грунтов кровли, образование мульд проседания. Разуплотнение и понижение прочности грунтового массива	2
		в. Грунты, преобразованные при подземной газификации углей (ПГУ) и подземной перегонке сланцев	Термические воздействия и связанные с ними изменения грунтов	Термически необратимо измененные вмещающие и контактовые грунты. Остаточные продукты горения, выплавления, обрушения и сдвижения грунтов кровли различного состава	2	В очагах ПГУ сгорание, плавление, спекание, образование новых минералов, кристаллических структур, окаменение, повышение механической прочности, растрескивание, повышение газо - водопроницаемости. Сдвижение грунтов в массиве над очагами ПГУ,	2

					перегонки и выплавления, сопровождаемое нарушением естественной структуры, разуплотнением, уменьшением E, C, φ, понижением прочности горного массива	
	г. Грунты, преобразованные при термическом выплавлении полезных ископаемых (сера и др.)	То же	То же	2	То же	2
	д. Остаточные продукты подземных пожаров, вызванных искусственными факторами	Подземное горение углей, сланцев, торфов и др. Обрушение и сдвижение вышележащих грунтов	Зольные и другие остаточные продукты подземного горения углей, сланцев, торфов и др.; грунты обрушения и сдвижения	2	Подземные пожары могут захватывать большие площади и длиться сотнями лет. Обрушение и сдвижение вышележащих грунтов ослабляет прочность массива	2
2. Привнесенные в грунтовые массивы различные материалы, строитель-	1). Горные а. Материал закладки и тампонажа подземных выработок (штолен, штреков, катакомб)	Закладка каменным материалом, отработанным грунтом, заполнение гидронамывом	Кирпич, бутовый и прочий камень, отработанные грунты разного состава, намывные песчано-глинистые грунты	2,3	Закладка и тампонаж подземных выработок предотвращает обрушение и сдвижение грунтов кровли, повышает прочность подработанного массива	1,2

Таблица 4 (продолжение)

Группа	Генетический комплекс	Класс и вид	Способ образования	Вещественный состав	Интегральный балл однородности	Инженерно-геологические особенности и оценка	Интегральный балл прочности
III. Субтерральные (подземные)	ные элементы, предметы хозяйства, материальные остатки войн	б. Материал засыпки шахт	Засыпка разными грунтами и мусором	Грунты отвалов, мусор	1,2	При заложении на грунты засыпанных шахт одиночных опор фундаментов возможны повышенные осадки и последующие деформации зданий и сооружений	1,2
		в. Культурный слой в подземных выработках (тоннели, штольни и пр.)	Стихийное накопление предметов эксплуатации выработок	Щебень, песок, бетон, шпалы, рельсы и пр.	1	Не используются в строительной практике	—
		2). Строительные					
		а. Скопления подземных частей зданий и различных сооружений	Скопление остатков старых фундаментов, сгоревших, снесенных, разрушенных зданий и сооружений, остатков дренажей, подземных коммуникаций и пр.	Кирпичная, бутовая кладка, каменные блоки, сваи, дренажные трубы, щебенчатые и песчаные грунты, материалы подземных коммуникаций	2	Остатки старых фундаментов повышают прочность основания новых сооружений, однако нужно учитывать возможность неравномерных осадок. Наличие остатков других сооружений усиливает неоднородность несущей способности основания	3,2
		б. Засыпанные песками древние города, поселения, крепости, дороги, ирригационные сооруже-	Засыпка и погребение развеваемыми песками в зоне пустынь и полупустынь	Погребенные каменные и земляные здания и сооружения, заполненные песком	—	При обнаружении, при новом строительстве и хозяйственном освоении должно учитываться их влияние на	—

	ния, колодцы и пр.				условия строительства и благоустройства	
	3). Военные					
	а. Подземные скопления металлических средств поражения	Скопление военного металла на глубину до 10 м и более	Металлические огнестрельные средства поражения (бомбы, снаряды, мины, ракеты, пули и др.)	2—3	Антропогенный процесс ожелезнения верхнего покрова литосферы на театрах военных действий	3
	б. Остатки фортификационных сооружений	Остатки заброшенных бастионов, дотов, дзотов, землянок, окопов, траншей, рвов, минных галерей и др.	Металл, бетон, железобетон, строительный камень, цемент, кирпич, дерево, песчано-глинистые грунты	—	Сохранились остатки древних и современных военных сооружений и особенно войн 1812, 1914—1917 гг., 1917—1920 г., 1941—1945 гг. Всегда должны учитываться при оценке инженерно-геологических условий местности	—
	в. Засыпанные массовые воронки на поверхности	Засыпка воронок	Местный грунт, мусор	1,2	Прочностные свойства зависят от материала и способа засыпки. Подстилающие насыпные грунты сильно уплотнены ударным воздействием огневых средств	1
	г. Погребения людей и животных на полях сражений	Массовые индивидуальные и коллективные погребения	Переотложенные местные песчано-глинистые грунты, скопления органических остатков	1	—	—

Таблица 4 (окончание)

Группа	Генетический комплекс	Класс и вид	Способ образования	Вещественный состав	Интегральный балл однородности	Инженерно-геологические особенности и оценка	Интегральный балл прочности
III. Субтерральные (подземные)		4). Хозяйственно-бытовые					
		а. Насыпные грунты в подземных местах обитания человека (подземные города, поселения, храмы, пещеры, катакомбы)	Стихийное накопление культурного слоя из предметов хозяйства и быта	Состав пестрый: продукты подземного выветривания грунтов, строительные, хозяйственные и бытовые отходы	1	Распространены ограниченно, мощности небольшие, 0—1 м. Свойства неоднородные	—
		б. Кладбища, погреба, колодцы	Специально устраиваемые	Переотложенные местные песчано-глинистые грунты, скопления скелетных, древесных и других остатков. Погреба и колодцы имеют крепления, иногда засыпаны местным грунтом и мусором	1	Заброшенные кладбища, колодцы и погреба, как правило, осложняют строительство и эксплуатацию зданий и сооружений и при изысканиях требуют к себе особого внимания	—

* Класс — арабская цифра со скобкой, вид — буква (а, б, в, г).

Рис. 27. Антропогенный рельеф. Горные отвалы, карьер, оползневые деформации бортов карьера, район КМА

запыление атмосферы, приостанавливают почвообразовательный процесс, угнетают и нередко губят флору, видоизменяют рельеф, загрязняют почвы, грунты, реки, озера, моря, Мировой океан, подземную гидросферу, порождают новые геодинамические процессы.

В задачи рекультивации — улучшения поверхности земли входит регулирование стихийных процессов накопления, размещения и использования отходов, добычи полезных ископаемых, производства и быта; ликвидация свалок, сокращение мусороотходов, сжигание, утилизация мусора; ликвидация и полезное использование терриконов, горных и промышленных отвалов; улучшение изуродованного рельефа; санитарное оздоровление среды.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ АНТРОПОГЕННОГО ЛИТОГЕНЕЗА

В перспективе будут действовать факторы, усиливающие и ослабляющие антропогенный литогенез.

К факторам, усиливающим антрополитогенез, относятся:

1) рост народонаселения планеты, которое к 2000 г. достигнет 7,5 млрд. человек. Городское население составит $^3/_4$, в СССР — достигнет 250—300 млн. человек,
2) развитие индустриализации,
3) урбанизация и агломерирование,
4) развитие подземного градостроительства,

5) увеличение открытых разработок полезных ископаемых к 2000 г. до 75—80% (Мельников, 1974),
6) увеличение площади водохранилищ в СССР,
7) увеличение площади орошаемых земель,
8) открытие новых искусственных изотопов, элементов, соединений, веществ, материалов и др.

К факторам, ослабляющим антропогенный литогенез, относятся:

1) улучшение технологии производства и уменьшение его отходов,
2) утилизация отходов,
3) постепенная замена естественных природных минеральных, энергетических и др. ресурсов искусственными на основе использования термоядерной, космической, эндогенной и других энергий, принципиально новых материалов и веществ.

В ближайшем десятилетии, по-видимому, следует ожидать интенсификации антропогенного литогенеза с последующим спадом его. Переломный временной рубеж пока установить трудно. Вместе с тем в связи с глобальным размахом мероприятий по охране и улучшению природы, по рекультивации земель в ближайшие 20—30 лет есть основания ожидать более упорядоченного и рационального размещения и использования отходов труда и жизнедеятельности человека. В литологии и инженерной геологии следует шире развернуть фронт научных исследований по проблеме антропогенного литогенеза.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

Наряду с большим разнообразием антропогенных изменений природных обстановок и связанных с ними антропогенных геологических процессов отмечаются определенные тенденции и закономерности, зависящие от регионально-геологических, зонально-климатических условий местности, экономического профиля, исторических, архитектурно-строительных и других особенностей самих городов, причем изменения наблюдаются однозначные и неоднозначные, в пределах одного города и в зонально-региональном плане.

Города оказывают большое влияние на развитие, ход и направленность геодинамических процессов. По степени их влияния на современные геологические процессы последние нами разделяются на три категории.

1. Природные геологические процессы, не испытывающие влияния деятельности человека (эндогенные и многие эндолитогенные).

2. Природно-антропогенные геологические процессы (природные геологические процессы, количественно и качественно измененные человеком).

3. Антропогенные геологические процессы, возникновение и развитие которых целиком вызвано деятельностью человека.

Природные и антропогенные геологические процессы и явления имеют общие признаки и различия.

Количественные отличия антропогенных процессов состоят в том, что во времени они развиваются быстрее и с большей интенсивностью. Некоторые явления можно вызвать без всякой подготовки, мгновенно, например обвал или оползень при искусственной подрезке склона или откоса.

Качественные отличия их следующие: специфический генезис, связанный с деятельностью человека, формирование избирательное, в зависимости от характера воздействий человека на природную среду, характер воздействий человека на природу является определяющим фактором; они — не продукт стихийных сил природы, а результат преимущественно сознательного воздействия человека на природу, хотя элементы стихийного (нецеленаправленные) пока еще имеют большое значение, характер и направленность может не соответствовать природным условиям местности.

Выделение трех групп процессов и явлений целесообразно, так как они различаются по условиям формирования, проявления и динамике развития и поэтому требуют дифференцированного подхода к изучению, прогнозированию и регулированию. В систематике современных геодинамических процессов антропогенные геологические процессы и явления представляют собой самостоятельную генетическую категорию.

В городах распространены все три категории процессов, причем последние две получают наибольшее развитие. Почти все виды современных экзогенных геологических процессов в какой-то мере преобразуются и изменяются. Например, как показали наши наблюдения, развитие оползней связано с деятельностью человека на 70—85%, оврагообразование — на 80—95%. Город может усиливать, ослаблять и даже прекращать развитие отдельных геологических процессов. В ряде городов СССР в результате инженерной подготовки и благоустройства территории уже удалось полностью прекратить речную (боковую) эрозию, оврагообразование, наводнения, заболачивание, развитие оползней, селей, абразию и др. Однако еще во многих городах продолжается активизация современных геологических процессов.

Многие современные геологические процессы увеличивают площадь непригодных городских земель, общая площадь которых в СССР в среднем составляет 10—15%, а в отдельных горо-

дах достигает 30—40%, в связи с чем проблема перевода непригодных земель в категорию пригодных приобретает большое государственное значение. Путь к управлению геологическими процессами лежит через познание законов их образования и развития.

Антропогенные геологические процессы и явления дифференцируются в зависимости от видов, места и времени производственной и хозяйственной деятельности человека. В городах они имеют свою специфику, свои характерные черты, наиболее широкий спектр, что обусловлено разнообразием видов антропогенных воздействий города на геосреду, более высокую их интенсивность.

На территориях городов в наибольшей степени изменены естественные физические поля, и это оказывает существенное влияние на экологию города, здоровье жителей, инженерно-геологическую среду, развитие антропогенных геологических процессов и явлений, на практику изысканий и строительства.

Чем индустриальнее, крупнее и древнее город, тем интенсивнее, разнообразнее и шире распространены антропогенные геологические процессы и явления. Наибольшее развитие этих процессов и явлений по глубине характерно для шахтных, рудничных, нефтегазопромысловых городов, где максимальная глубина внедрения человека достигает 10—15 км.

Наименьшее развитие и распространение антропогенных геологических процессов и явлений типично для малых городов, для неиндустриальных городов административного, научного, культурного, курортного, торгового, музейного, туристического профиля.

Антропогенные геологические процессы и явления, как и природные геологические процессы, имеют свой возраст, время появления и существования. Чем древнее город, тем древнее эти процессы, тем отчетливее они выражены.

Профиль антропогенных геологических процессов и явлений и антропогенного ландшафта коррелируется с функциональным профилем города.

Наибольшее развитие получают антропогенные геологические процессы и явления, связанные с антропогенными изменениями подземной, поверхностной гидросферы, рельефа и грунтов. Максимальное развитие и повышенную динамичность они имеют в зоне многолетней мерзлоты, в горно-складчатых областях, в береговой зоне рек, озер, водохранилищ, морей и океанов.

Физическая природа и механизм действия антропогенных геологических процессов и явлений характеризуются следующими основными чертами. По механизму действия и проявления эти процессы бывают обратимыми и необратимыми, скрытыми и проявленными. Наиболее опасен недоучет скрытых и обратимых. По времени своего действия они разделяются на мгновенные, кратковременные, длительные и вековые. По скорости развития и проявления — на медленные, средней скорости и быстродействующие. При прямых (непосредственных) воздействиях антропоген-

ные геологические процессы и явления возникают чаще и развиваются быстрее; при косвенных воздействиях возникают реже и развиваются медленнее. По условиям распространения антропогенные геологические процессы и явления разделяются на точечные, очаговые, локальные (местные), линейные, крупноплощадные, региональные и глобальные; по вертикали выделяются наземные, приповерхностные и глубинные; по характеру взаимодействия с грунтами — литогенные (связанные с грунтами, например просадки, осадки, провалы, карст, оползни, пучение и др.) и внелитогенные (непосредственно не связанные с грунтами, например заболачивание, затопление, наледи, накопление твердых отходов и др.).

Антропогенные геологические процессы и явления зональны, азональны и часто интразональны. В зоне многолетней мерзлоты преобладают антропогенные мерзлотные явления, в горных странах — склоновые процессы, в прибрежной полосе — береговые процессы, в зоне пустынь и полупустынь — дефляция, разбарханивание, засоление, эоловые и другие процессы.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ КАЧЕСТВЕННЫЙ ПРОГНОЗ

В ближайшие десятилетия и столетия ожидается не ослабление, а усиление влияния человека на геосреду. Надо надеяться, что широко распространенные стихийные воздействия, которые чаще обедняют и портят природу, все более и более будут заменяться сознательными и рациональными воздействиями, направленными на охрану и улучшение природы.

Предстоит гигантский размах нового градостроительства. Размещение новых городов будет обусловливаться развитием и размещением производительных сил. Новый рудник, новая фабрика, новый завод — в перспективе это новый город.

Освоение новых месторождений минерального сырья вызовет передвижение человека в новые регионы, предстоит строить города в трудных природных зонах Земли (Арктика, Антарктика, область вечной мерзлоты, пустыни, полупустыни, труднодоступные горные районы, заболоченные территории и пр.). Градостроительство в тяжелых и сложных инженерно-геологических условиях потребует широкого применения инженерных мелиораций и повысит роль гидрогеологии и инженерной геологии.

Будет продолжаться урбанизация, однако города-гиганты в СССР вряд ли получат широкое распространение, поскольку они создают большие трудности и кризисные ситуации в жизни города. Предстоит укрупнение малых и средних городов, реконструкция сложившихся городских агломераций: ограничение роста крупных городов, создание вокруг них городов-спутников. Предусматривается формирование крупных, средних и малых групповых систем, укрупнение сельских поселений. Выполняются работы по реконструкции сложившихся агломераций.

На современном этапе наметились новые градостроительные тенденции: индустриализация строительства, повышение этажности зданий, развитие новых видов градостроительства. Это расширит антропосферу города, усилит процесс антропогенного изменения лика планеты и земной коры.

В городах коммунистического будущего отрицательное влияние на природу будет постепенно уменьшаться и взаимодействие города и природной среды будет регулироваться новой системой расселения с использованием всех средств научно-технического прогресса, оздоровления и улучшения природной обстановки, оптимизации всех компонентов геосреды: атмосферы, климата, флоры, фауны, поверхностной и подземной гидросферы, литосферы, геодинамических процессов.

Города перестанут быть загрязнителем природы. Они с большим искусством будут вписываться в природный ландшафт, украшать и обогащать его. Изучение антропогенных изменений геосреды уже имеет и будет иметь еще большее научно-практическое значение. Центральное ядро в этой проблеме — разработка научных основ долгосрочного прогнозирования антропогенных изменений геологической среды, развития антропогенных геологических процессов и управления ими в полезном для человека направлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере ряда городов, и в первую очередь крупных индустриальных и древних городов, городов-«ветеранов» показана роль человека в глубоком и разностороннем преобразовании геологической среды. Современные города стали своеобразными трансформаторами природы. Обобщение большого количества наблюдений и фактов позволяет убедительно говорить о том, что современные крупные индустриальные города — это сгустки ноосферы, такие участки земной коры, где сфера разума, инженерно-хозяйственная деятельность человека с применением современной мощной техники наиболее ярко и интенсивно проявилась в изменении ландшафтов и состоянии верхних слоев земной коры.

Антропогенным изменениям в городах подверглись почти все элементы природной геосреды: атмосфера, климат, поверхностная гидросфера, растительный и почвенный покровы, верхние слои литосферы и геодинамические процессы и явления. Наиболее податливыми антропогенным воздействиям и динамичными оказались атмосфера, климат, поверхностная и подземная гидросфера, а также некоторые геодинамические процессы и явления. Особого внимания заслуживают антропогенные изменения гидрографии, рельефа, подземных вод, грунтов и современных геологических процессов, поскольку именно эти компоненты гео-

среды в основном формируют инженерно-геологические условия строительства.

На территориях городов изменены многие естественные физические поля, с чем связано формирование антропогенных геологических процессов и явлений. Оно происходит избирательно, применительно к характеру и направленности инженерно-хозяйственной деятельности человека в городе и обусловлено также регионально-геологическими и зонально-климатическими условиями местности, ведущее значение в этом принадлежит антропогенным воздействиям на природную среду. Систематическому рассмотрению их уделено значительное место в этой книге.

Города различного функционального профиля имеют свои специфические комплексы антропогенных геологических процессов и явлений.

На территории городов в результате постепенного изменения природной геосреды формируются различные типы антропогенных ландшафтов. В зависимости от функционального профиля города образовались антропогенные городские ландшафты следующих типов: горнодобывающий, индустриальные (с преобладающей специализацией, металлургической, химической, легкой, машиностроительной и других видов промышленности), нефтепромысловый, гидротехнический, транспортный и др.

Как сами города, так и их антропогенизированные ландшафты бывают однопрофильными и многопрофильными, но чаще преобладают смешанные.

Установлено исключительно большое разнообразие антропогенных геологических процессов и явлений. Автором разработана на генетической основе трехчленная классификация антропогенных геологических процессов и явлений, в которой выделено 5 групп, 17 классов и 90 видов (см. табл. 2).

На базе большого фактического материала дана обобщающая инженерно-геологическая характеристика выделенных групп, классов и видов антропогенных геологических процессов и явлений. Это составило основную часть работы.

Разработана и приведена новая инженерно-геологическая классификация антропогенных отложений техногенного покрова городов с балльной оценкой степени их однородности и прочности как оснований зданий и сооружения (см. табл. 4).

Изучение антропогенных геологических процессов и явлений имеет большое народнохозяйственное значение. Не следует забывать, что с их проявлением связано в среднем около 70% всех случаев деформаций, повреждений и аварий городских зданий и сооружений. Это должно приковать к этим процессам наше внимание.

Наибольший ущерб народному хозяйству наносят антропогенные мерзлотно-геологические процессы и явления в зоне многолетней мерзлоты, явления просадок лёссовых грунтов, подтопление городских территорий, субтерральные процессы на подра-

батываемых территориях и антропогенные склоновые явления (оврагообразование, оползни, обвалы, осыпи, сели и др.). Недостаточное внимание изыскателя и проектировщика к антропогенным изменениям природной геосреды порождает дорогостоящие просчеты и ошибки в оценках, прогнозах и рекомендациях. Измененная человеком природа мстит изыскателю, архитектору, проектировщику и строителю за невнимание к себе.

Современная строительная практика испытывает большую потребность в прогнозировании антропогенных геологических процессов и явлений, в то же время проблема прогнозирования на сегодня остается наименее разработанным разделом антропогенной инженерной геодинамики. Инженерная геология, гидрогеология, мерзлотоведение и механика грунтов располагают теорией и методикой прогнозов, но преимущественно частных прогнозов, касающихся взаимодействия отдельно взятого сооружения с грунтами основания. Прогнозы антропогенных геологических процессов и явлений крупноплощадного, регионального и глобального плана, вековые и долгосрочные прогнозы, комплексные прогнозы, синтезирующие антропогенные изменения всех взаимосвязанных компонентов окружающей среды ждут теоретического, методического и практического обоснования и соответствующей разработки.

Не меньшее значение имеет проблема управления антропогенными геологическими процессами, применения инженерно-геологических мелиораций. Инженерно-геологическая мелиорация — это система улучшения инженерно-геологических условий, улучшения всех компонентов инженерно-геологической среды (грунтовых, гидрогеологических, геодинамических и др.). Борьба с отрицательно действующими антропогенными геологическими процессами, с дискомфортными условиями немыслима без инженерно-геологического мелиорирования окружающей среды, она требует применения комплексных мер борьбы, с учетом взаимосвязи антропогенных изменений среды и антропогенных геологических процессов.

Уже имеется много апробированных практикой способов и технических средств улучшения инженерно-геологической среды, которые и необходимо применять (закрепление грунтов, регулирование режима поверхностных и подземных вод, вертикальная планировка рельефа, рекультивация земель, борьба с оползнями, осыпями, обвалами, эрозией, абразией, селями, карстом, суффозией, геокриогенными процессами и др.). Изыскатель должен рекомендовать наиболее приемлемые и эффективные в местных условиях способы инженерно-геологической мелиорации. Мероприятия по профилактике и борьбе с отрицательно действующими процессами должны быть направлены в первую очередь на изменение факторов и условий, их вызывающих.

Природу в городах нужно не только охранять, но и улучшать. Компоненты природной среды находятся в единстве и взаимо-

связи. Следовательно, нельзя односторонне осуществлять охранные мероприятия. В прогнозах и в градостроительных проектах следует учитывать их взаимообусловленность, существование цепных реакций. Научно-технический прогресс имеет позитивную и негативную стороны. Стихийно развивающийся научно-технический прогресс может вызывать отрицательные последствия, ухудшать природную среду, экологию городов.

Научно обоснованное природопользование — это умение управлять ландшафтами городов. Нельзя допускать деградацию ландшафтов. Нужно взять под охрану красоту ландшафтов и красоту древних городов, архитектурных ансамблей, отдельных зданий и сооружений исторического значения. Города — скопления памятников архитектуры и цивилизации. Только в г. Москве под охраной государства находится 564 ансамбля и отдельных памятников архитектуры и 80 памятников истории и культуры. Охрана исторических памятников должна предусматривать защиту их от отрицательного воздействия антропогенных геологических процессов, которые чаще всего и служат причиной их повреждения и разрушения.

Необходимо также охранять выдающиеся памятники природы, расположенные на территориях городов и пригородных зон (уникальные геологические разрезы, геологические явления, карстовые пещеры, минеральные источники и пр.).

Выполненные исследования не могут исчерпать и дать решения всех вопросов проблемы антропогенной инженерной геодинамики городов. Много осталось белых пятен и неизученных аспектов, и предстоит огромная научно-исследовательская работа в этом направлении. Следует расширить фронт и тематику теоретических, методических, экспериментальных, стационарных и региональных исследований по данной проблеме. Необходимо разрабатывать теорию формирования антропогенных геологических процессов и явлений и научные основы управления ими, изучать природу, взаимосвязь естественных и антропогенных геологических процессов и явлений, их зональность, азональность и интразональность. В связи с этим необходимо усовершенствование методики съемки, разведки, полевого опробования, стационарных наблюдений, лабораторных исследований, моделирования, камеральных работ, составления аналитических и синтетических карт антропогенных геологических явлений.

Крайне важно разработать общую теорию прогнозирования и методику отдельных видов прогноза: количественных, качественных, временных (вековых, долгосрочных, краткосрочных), пространственных (локальных, крупноплощадных, региональных и глобальных), общих, частных, функциональных, статистических, логических, экстраинтерполяционных и других, используя все шире математическое, лабораторное и натурное моделирование. При долгосрочном прогнозировании рекомендуется учитывать новые тенденции в градостроительстве, воплощенные в перспективных

планах развития городов. Целесообразно выделить серию городов, расположенных в различных инженерно-геологических условиях, в качестве опытно-экспериментальных полигонов для комплексного изучения условий, закономерностей формирования и природы антропогенных геологических процессов и явлений. Эти исследования желательно проводить с участием специалистов смежного профиля.

Наименее изучены процессы мерзлотно-геологические, субтерральные, и особенно глубинных зон, подтопления городских территорий; к их изучению следует повысить внимание.

Разработка научных основ инженерно-геологических мелиораций особенно важна в связи с передвижением градостроительства в трудные природные зоны Земли и с необходимостью перевода непригодных городских земель в категорию пригодных.

При градостроительном освоении неблагоприятных и осложненных наличием антропогенных геологических процессов территорий следует рекомендовать четыре возможные стратегические линии:

1) уйти от трудных мест;

2) отделить селитебную зону от мест приложения труда (при наличии транспортных возможностей);

3) адаптировать (приспособить) город к трудностям природной среды;

4) обезвредить неблагоприятные факторы и антропогенные процессы, улучшить природную среду.

Эти стратегические аспекты следует учитывать при разработке технико-экономических обоснований, проектов районной планировки и генпланов городов.

Для повышения научно-технического уровня современного и будущего градостроительства крайне необходимо развитие теории и совершенствование практики инженерных изысканий и проектирования городов на уровне современного научно-технического прогресса с максимальным учетом инженерных антропогенных геодинамических процессов и задач по улучшению и охране окружающей природной геологической среды.

Перспективные планы развития городов должны предусматривать по возможности полную ликвидацию некоторых видов действующих отрицательно геологических процессов и явлений.

При планировке города, проектировании микрорайона, квартала, архитектурного ансамбля, отдельного здания и сооружения нужно умело и с большим искусством вписывать их в природную обстановку, учитывать, предупреждать и ограничивать отрицательные антропогенные геологические процессы и явления, наносящие ущерб городу, возможно полнее осуществлять техническую и эстетическую гармонию города и природной среды.

Города все более и более становятся средой обитания и жизнедеятельности человека. Города строятся на века. Сегодня мы строим города коммунистического будущего. Надо заглядывать в завтрашний день, чтобы не оказаться во вчерашнем.

ЛИТЕРАТУРА

Абелев Ю. М., Крутов В. И. Возведение зданий и сооружений на насыпных грунтах. М., Госстройиздат, 1962.

Абрамов С. К., Дегтярев Б. М., Дзекцер Е. С. Источники и факторы подтопления территорий промышленных предприятий.— В сб.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением (Тезисы докладов и сообщений на Всесоюзном межотраслевом совещании). Белгород, 1972.

Адабашев И. Человек исправляет планету. Изд. 2-е, доп. М., «Молодая гвардия», 1964.

Ананьев В. П., Передельский Л. В., Черкасов М. И. Распространение и инженерно-геологические особенности набухающих глинистых грунтов.— В сб.: Строительство на набухающих грунтах. Тезисы докладов II Всесоюзного совещания (Ростов-на-Дону, октябрь 1972). М., 1972.

Арманд Д. Л. Нам и внукам. Изд. 2-е, доп. М., «Мысль», 1966.

Баландин Р. К. Планета обретает разум. *Биосфера — техносфера.* Минск, «Наука и техника», 1969.

Баранов И. Я. Принципы инженерных изысканий для целей градостроительства в области многолетнемерзлых горных пород.— В сб.: Инженерная геология и градостроительство (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1973.

Барац Н. И. Инженерно-геологические условия г. Омска и их изменение в результате деятельности человека. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. геол.-мин. наук. МГУ. 1974.

Белоусов В. Н., Кочетков А. В., Лазарева И. В., Листенгурт Ф. М. Современное состояние и перспективы градостроительства в СССР.— В сб.: Инженерная геология и градостроительство (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.), Изд-во МГУ, 1973.

Белый Л. Д. Основные вопросы теории и практики инженерной геологии в гидроэнергостроительстве. М.— Л., Госэнергоиздат, 1957.

Бобов Н. Г. Физические процессы в промерзающих, мерзлых и протаивающих породах и криогенные явления.— В сб.: Справочник по инженерной геологии, гл. 8, ч. 3. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Недра», 1974.

Бобов Н. Г., Ефимов А. И. Влияние хозяйственного освоения территорий с многолетнемерзлыми породами.— В кн.: Гидрогеология СССР. Сводный том, вып. 4. М., «Недра», 1973.

Богданов В. И., Смирнов Р. А. Влажность грунтов зоны аэрации в условиях застройки.— В сб.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением (Тезисы докладов и сообщений на Всесоюзном межотраслевом совещании). Белгород, 1972.

Большая советская энциклопедия, т. 12. Город. Изд. 2-е. М., «Советская Энциклопедия», 1952.

Бродский Б. И. Покинутые города. М., «Советский художник», 1963.

Будыко М. И. Влияние человека на климат. Л., Гидрометеоиздат, 1972.

Вендров С. А. Роль водохранилищ в

преобразовании природы.— Изв. АН СССР, сер. географ., 1961, № 4.
Вернадский В. И. Очерки геохимии. 4-е изд. М.— Л., Горгеонефтеиздат, 1934.
Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере. Успехи современной биологии, т. XVIII, вып. 2, 1944.
Виноградов А. Технический прогресс и защита биосферы.—«Коммунист», 1973, № 11.
Влияние инженерно-геологических и гидрогеологических условий на градостроительство (Доклады к конференции «Климат — город — человек»). М., Гидрометеоиздат, 1973.
Воейков А. И. Воздействие человека на природу (Избранные статьи). М., Географгиз, 1949.
Втюрина Е. А., Втюрин Б. И. Льдообразование в горных породах. М., «Наука», 1970.
Гармонов И. В., Коноплянцев А. А., Котлов Ф. В. Оседания земной поверхности в связи с интенсивной откачкой подземных вод, эксплуатацией месторождений нефти и газа. Некоторые вопросы теории прогноза оседания (Обзор по отдельным проблемам, вып. 17. Сер. «Гидрогеология и инженерная геология», № 1, ВИЭМС, ОНТИ). М., 1965.
Герасимов И. П. Научно-технический прогресс и география.— В сб.: Материалы V съезда Географического общества СССР. М., 1970.
Гидрогеология СССР. Сводный том, вып. 4. М., «Недра», 1973.
Глушко Я. М., Лазарев Н. В. Человечество как геологический фактор.— В сб.: Введение в геогигиену (География и гигиена). М.— Л., «Наука», 1966.
Голубев Г. Е. Основные направления использования подземного пространства в градостроительстве.— В сб.: Инженерная геология и градостроительство (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1973.
Гончар Г. Я. Грунтовые воды южных городов Украины и вопросы борьбы с ними. Инженерно-геологические проблемы градостроительства (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1973.
Гончарова Л. В. Основы искусственного улучшения грунтов. Изд-во МГУ, 1973.
Граве Н. А. Географическое распространение крупных масс подземных льдов области вечной мерзлоты и их изученность.— В кн.: Материалы Совещания по изучению льда и снега. М., Изд-во АН СССР, 1951.
Градостроительство на Крайнем Севере. М., Изд. Центра науч.-техн. информ. по гражд. стр-ву и архит., 1969.
Градостроительство СССР. М., Стройиздат, 1967.
Грыза А. А. Причины подтопления застроенных территорий.— В сб.: Влияние инженерно-геологических и гидрогеологических условий на градостроительство (Доклады к конференции «Климат — город — человек»). М., Гидрометеоиздат, 1973.
Дементьев С., Кудрявцев В., Левкович А. Диктует вечная мерзлота.— «Правда», 28.VII 1974.
Денисов Н. Я. Инженерная геология. М., Госстройиздат, 1960.
Достовалов Б. Н., Кудрявцев В. А. Общее мерзлотоведение. Изд-во МГУ, 1967.
Жуков В. Ф. Предпостроечное протаивание многолетнемерзлых горных пород при возведении на них сооружений. М., Изд-во АН СССР, 1958.
Золотарев Г. С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки.— Тр. Лабор. гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР, т. 12. М., Изд-во АН СССР, 1955.
Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика и ее развитие.— В сб.: Проблемы инженерной геологии (Труды Межведомственного совещания по инженерной геологии, 3—8 июня 1968 г.). Изд-во МГУ, 1970.
Иконников Л. Б. Формирование берегов водохранилищ. М., «Наука», 1972.
Ильин М. Преобразование планеты. Рассказы о покорении природы. М., «Советский писатель», 1951.
Ильинская Н. М. Антропогенные изменения режима подземных вод на территории г. Одессы.— В сб.: Материалы к Научно-технической конференции (апрель 1969 г.). М., изд. ПНИИИС, 1969.

Инженерная геология и градостроительство (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1973.

Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы градостроительства (Доклады к конференции «Климат — город — человек»). М., Гидрометеоиздат, 1974.

Инженерно-геологические проблемы градостроительства (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1971.

Инженерные изыскания в строительстве, сер. II. Реф. сб. 1(19). Вопросы подтопления застроенных территорий и борьбы с ним. М., изд. ЦИНИС, 1973.

Инженерные изыскания в строительстве, сер. II. Реф. сб. 4(22). Инженерно-геологический анализ эффективности противооползневых мероприятий на Южном берегу Крыма. М., Изд. ЦИНИС, 1973.

Инженерные изыскания в строительстве. Защита застроенных территорий от подтопления. Киев, «Будівельник», 1972.

Инструкция по инженерным изысканиям для городского и поселкового строительства. СН 211-62. М., Госстройиздат, 1962.

Инструкция по составлению проектов планировки и застройки городов. СН 345-66. М., Стройиздат, 1966.

Калашников Б. А., Черкасов М. И., Рослова Е. П. Деформации зданий в процессе набухания и усадки грунтов основания.— В сб.: Строительство на набухающих грунтах. Тезисы докладов II Всесоюзного совещания (Ростов-на-Дону, октябрь 1972). М., 1972.

Каменский Г. Н. Предмет инженерной геологии как науки.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1936, № 1.

Качугин Е. Г. Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. М., «Наука», 1975.

Кингали Д. Зарождение и развитие городов на земном шаре.— В сб.: География городов. Пер. с англ. М., «Прогресс», 1965.

Киселева З. Т. Влияние инженерно-хозяйственной деятельности человека на развитие оползней в г. Ульяновске.— Тр. ПНИИИС, т. 16. М., 1972.

Киселева З. Т. Антропогенные изменения геосреды на примере территории г. Воркуты.— В сб.: Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы градостроительства (Доклады к конференции «Климат — город — человек»). М., Гидрометеоиздат, 1974.

Козловский В. И., Медведев О. П. Влияние инженерно-геологических условий на размещение сооружений в зонах подземной урбанизации г. Москвы.— В сб.: Инженерно-геологические проблемы градостроительства (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1971.

Коломенский Н. В. Роль человека в выветривании горных пород.— Тр. Лабор. гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР, т. III. М., Изд-во АН СССР, 1948.

Короткевич Г. В. Соляной карст. Л., «Недра», 1970.

Костомаров В. М. Противооползневые мероприятия в городах. М., Стройиздат, 1967.

Котлов Ф. В. Культурный слой г. Москвы и его инженерно-геологическая характеристика.— В сб.: Очерки гидрогеологии и инженерной геологии Москвы и ее окрестностей. М., изд. МОИП, 1947.

Котлов Ф. В. Роль человека в преобразовании природы.— Тр. II Узбекистанского гидрогеологического совещания. Ташкент, 1959.

Котлов Ф. В. Изменения природных условий территории Москвы под влиянием деятельности человека и их инженерно-геологическое значение. М., Изд-во АН СССР, 1962.

Котлов Ф. В. Антропогенный карст.— В сб.: Новости карстоведения и спелеологии, № 3. М., Изд-во АН СССР, 1963а.

Котлов Ф. В. Взаимосвязь природных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений — В сб.: Природные физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления. М., Изд-во АН СССР, 1963б.

Котлов Ф. В. Классификация антропогенных отложений.— В сб.: Инженерно-геологические процессы и явления, их значение для строительства. М., Госстройиздат, 1963в.

Котлов Ф. В. О региональном характере распространения некоторых инженерно-геологических явлений.— В сб.: Природные физико-геологические и инженерно-геологические про-

цессы и явления. М., Изд-во АН СССР, 1963 г.

Котлов Ф. В. Проблемы инженерной геологии Москвы (Доклад о работах, представленных на соискание ученой степени доктора геол.-мин. наук). М., изд. ВСЕГИНГЕО, 1963д.

Котлов Ф. В. Способы улучшения инженерно-геологических условий строительства. М., Изд-во АН СССР, 1965.

Котлов Ф. В. Классификация инженерно-геологических процессов и явлений.— В сб.: Материалы к научно-технической конференции по инженерным изысканиям (11—15 мая 1967 г.). М., изд. ПНИИИС, 1967.

Котлов Ф. В. Инженерно-геологические процессы и явления на территории г. Одессы и закономерности их развития.— В сб.: Материалы к научно-технической конференции (Апрель 1969 г.). М., изд. ПНИИИС, 1969.

Котлов Ф. В. Антропогенные геологические процессы и явления.— В сб.: Вопросы инженерной геологии (Доклады советских ученых к Международному конгрессу Международной Ассоциации инженеров-геологов). М., 1970а.

Котлов Ф. В. Антропогенные изменения пород.— В сб.: Проблемы инженерной геологии (Труды Межведомственного совещания по инженерной геологии, 3—8 июня 1968 г.). Изд-во МГУ, 1970б.

Котлов Ф. В. Антропогенные рельефообразующие геологические процессы и явления.— В сб.: Современные экзогенные процессы рельефообразования (Материалы VII пленума Геоморфологической комиссии АН СССР). М., «Наука», 1970в.

Котлов Ф. В. Инженерно-геологические процессы и явления, закономерности их формирования.— В сб.: Проблемы инженерной геологии (Труды Межведомственного совещания по инженерной геологии, 3—8 июня 1968 г.). Изд-во МГУ, 1970 г.

Котлов Ф. В. Закономерности изменения природной геологической среды на территории городов.— В сб.: Геология и инженерная геология (Международный геологический конгресс. XXIV сессия. Доклады советских геологов). М., «Наука», 1972а.

Котлов Ф. В. Роль антропогенных факторов в формировании инженерно-геологических свойств глинистых пород.— В сб.: Инженерно-геологические свойства глинистых пород и процессы в них (Труды Международного симпозиума 14—24 сентября 1971 г., вып. 1). Изд-во МГУ, 1972б.

Котлов Ф. В. Проблемы инженерной геологии в связи с градостроительством.— В сб.: Инженерная геология и градостроительство (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1973.

Котлов Ф. В. Изменения природной геологической среды на территориях городов и промышленных центров.— В сб.: Рациональное использование земной коры (Материалы научного совещания. Москва, 1972 г.). М., «Недра», 1974.

Котлов Ф. В., Снобкова А. И., Киселева З. Т. Современные геологические процессы и явления на территории Архангельска.—Тр. ПНИИИС. Вопросы теории и методики инженерной геодинамики, вып. 32. М., Госстройиздат, 1975а.

Котлов Ф. В. Антропогенный литогенез.— В сб.: Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород (Труды Международной конференции, 4—6 июля 1974 г., Москва). Изд-во МГУ, 1975б.

Котлов Ф. В. Город и геологическая среда, закономерности их взаимодействия (Международный геологический конгресс. XXV сессия. Доклады советских геологов. Геология четвертичного периода. Инженерная геология. Проблемы гидрогеологии аридной зоны). М., «Наука», 1976а.

Котлов Ф. В. Подтопление застроенных территорий — типичный антропогенный процесс.— Инженерные изыскания в строительстве. сер. II. Реф. сб. 3(44). М., изд. ЦИНИС, 1976б.

Котлов Ф. В., Брашнина И. А., Сипягина И. К. Город и геологические процессы. М., «Наука», 1967.

Кригер Н. И. Лёсс, его свойства и связь с географической средой. М., «Наука», 1965.

Кригер Н. И. Развитие представлений

о техногенезе и геологической деятельности города.— В сб.: Инженерно-геологические проблемы градостроительства (Доклады к конференции «Климат — город — человек»). М., Гидрометеоиздат, 1974.
Кригер Н. И., Севастьянов В. В. О наступлении моря на античные и современные города Черноморского побережья.— «Инженерные изыскания в строительстве», сер. II. Реф. сб. 5(23). М., изд. ЦИНИС, 1973.
Кригер Н. И., Матушкин Б. А. Техногенез, город и геофизические поля.— В сб.: Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы градостроительства (Доклады к конференции «Климат — город — человек»). М., Гидрометеоиздат, 1974.
Крюков А. С. Типология ландшафтов городов.— В сб.: Вопросы географии городов. Волгоград, 1967.
Кудрявцев А. О. Рациональное использование территорий при планировке и застройке городов СССР. М., Стройиздат, 1971.
Лаппо Г. М. Рассказы о городах. М., «Мысль», 1972.
Леггет Р. Ф. Человек как геологический агент.— Бюллетень МОИП, отдел геологический, I. М., «Наука», 1969.
Леггет Р. Города и геология. Пер. с англ. М., «Мир», 1976.
Лидов В. П. Антропогенный фактор в развитии ландшафтов.— В сб.: «География и хозяйство», № 8. М., 1960.
Лиманов Ю. А. Исследование развития осадок земной поверхности при сооружении станционных тоннелей в условиях кембрийских глин.— В сб.: ЛИИЖТа, вып. 156. Л., 1958.
Мавлянов Г. А. Генетические типы лёссов и лёссовидных пород центральной и южной частей Средней Азии и их инженерно-геологические свойства. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1958.
Мавлянов Г. А., Худайбергенов А. М., Шерматов М. Ш. Инженерно-геологические условия г. Чирчика как основа сейсмического микрорайонирования. Ташкент, «Фан», 1972.
Маковский В. Л. Современное строительство тоннелей и метрополитенов за рубежом. М., 1965.
Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. I. Пермь, 1963.
Марш Г. П. Человек и природа, или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы. Пер. с англ. СПб., 1866.
Мельников Н. В. Будущие горные выработки. Рациональное использование земной коры (Материалы научного совещания). М., 1974.
Мильков Ф. Н. Человек и ландшафты. М., «Мысль», 1973.
Морозов Ю. А. Классифицирование инженерно-геологических процессов и явлений, наблюдающихся при проходке подземных выработок в г. Баку.— Тр. ПНИИИС, т. 16. М., 1972.
Народное хозяйство СССР в 1972 г. Статистический ежегодник. М., «Статистика», 1973.
Никитин Н. В., Михальчук А. И., Травуш В. И. Исследование осадок фундамента телевизионной башни в Останкино.— «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1970, № 2.
Осодоев С. Ц. Природные и антропогенные геологические процессы и явления Иволгино-Удинской депрессии и их значение для строительства и хозяйственного освоения (Западное Забайкалье). Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. геол.-мин. наук. М., 1970.
Павлов Б. С. Инженерно-геологическая характеристика пород Норильского горно-промышленного района. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. геол.-мин. наук. М., 1961.
Панюков П. Н. Инженерная геология. М., Госгортехиздат, 1962.
Передельский Л. В., Ананьев В. П. Набухание и усадка глинистых грунтов (Учебно-методическое пособие). Ростов-на-Дону, 1973.
Перельман А. И. Геохимия ноосферы.— «Природа», 1972, № 1.
Печеркин И. А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ, ч. 1, 2. Пермь, 1966, 1969.
Пивоваров Ю. Л. Современная урбанизация. М., «Статистика», 1976.
Попов И. В. Инженерная геология. 2-е изд., перераб. и доп. Изд-во МГУ, 1959.
Попов И. В. Инженерная геология как раздел науки о ноосфере Земли.— В сб.: Вопросы инженерной геологии (Доклады советских ученых к Международному конгрессу Международной Ассоциации инженеров-геологов). М., 1970.

Порхаев Г. В., Щелоков В. К. Влияние застройки на термовлажностной режим многолетнемерзлых грунтов.— В сб.: Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры, вып. 7. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Приклонский В. А. О геологических явлениях, вызываемых инженерной деятельностью человека.— Тр. Лабор. гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР, т. 10. М., Изд-во АН СССР, 1951.

Принципы назначения инженерных мероприятий при проектировании строительства на лёссовых просадочных грунтах (Обзор). Составил Н. И. Кригер. М., изд. ЦИНИС, 1971.

Проблемы инженерной геологии (Труды Межведомственного совещания по инженерной геологии, 3—8 июня 1968 г.). Изд-во МГУ, 1970.

Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды. Материалы Всесоюзн. Конференции. Пять выпусков по темам 1—6. Л., 1976.

Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением (Тезисы докладов и сообщений на Всесоюзном межотраслевом совещании). Белгород, 1972.

Просенков В. И. Особенности режима интенсивно эксплуатируемых водоносных горизонтов Москвы и Подмосковья и вопросы их рационального использования и охраны. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. геол.-мин. наук. М., ВСЕГИНГЕО, 1974.

Рациональное использование земной коры (Материалы научного совещания. Москва, 1972 г.). М., «Недра», 1974.

Рекомендации по размещению инженерных сооружений и объектов культурно-бытового и коммунального назначения в подземном пространстве крупных городов. М., изд. ЦНИИП градостроительства, 1970.

Розовский Л. Б. Опыт применения метода инженерно-геологических аналогий для прогноза переработки берегов крупных водохранилищ.— Тр. Одесского госуниверситета, т. 147, 1957.

Рябчиков А. М. Антропогенный фактор изменения геосферы.— Вестн. МГУ, сер. география, 1970, № 2.

Саваренский Ф. П. Инженерная геология. М.— Л., ОНТИ, 1937.

Сазонов Г. Н. Исследование инженерно-геологических процессов, возникающих при проходке горных выработок Московского метрополитена (с целью прогноза этих процессов). Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. геол.-мин. наук. М., ВСЕГИНГЕО, 1973.

Саушкин Ю. Г. Культурный ландшафт.— В сб.: Вопросы географии, сб. 1, 1946.

Саушкин Ю. Г. Географический прогноз антропогенных процессов в природе.— «География в школе», 1968, № 3.

Сергеев Е. М. Современное состояние и перспективы развития инженерной геологии в СССР.— В сб.: «Проблемы инженерной геологии». (Труды Межведомственного совещания по инженерной геологии, 3—8 июня 1968 г.). Изд-во МГУ, 1970.

Сергеев Е. М. Инженерная геология и градостроительство.— В сб.: Инженерная геология и градостроительство (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1973.

Сергеев Е. М., Мельникова К. П. Идеи В. И. Вернадского о ноосфере и дальнейшее развитие инженерной геологии.— Вестн. МГУ, сер. геология, 1963, № 1.

Сергеев Е. М., Голодковская Г. А., Зиангиров Р. С. и др. Грунтоведение. Изд. 4-е, перераб. Изд-во МГУ, 1973.

Сидоренко А. В. Человек, техника, земля. М., «Недра», 1967.

Сидоренко А. В. Геология в 2000 году.— В сб.: Будущее науки, вып. 4. М., «Знание», 1971.

Сидоренко А. В. Основные проблемы взаимодействия человека и земной коры.— В сб.: Рациональное использование земной коры (Материалы научного совещания. Москва, 1972 г.). М., «Недра», 1974.

Сипягина И. К. Геологические процессы и явления на территории Ленинграда, вызванные деятельностью человека.— В сб.: Инженерно-геологические процессы и явления, их значение для строительства. М., Госстройиздат, 1963.

Сипягина И. К. Типы антропогенных отложений на территории г. Одессы.— В сб.: Материалы к научно-технической конференции (21—24 мая 1968 г.). М., изд. ПНИИИС, 1968.

Сипягина И. К. Закономерности распространения антропогенных отложений на территориях крупных городов.— Тр. ПНИИИС, т. 16. М., 1972.

Скворцов Г. Г. Оценка природных факторов при прогнозах инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Автореф. дис. на соиск. учен. степени доктора геол.-мин. наук. М., ВСЕГИНГЕО, 1963.

Снобкова А. И. Антропогенные геологические процессы, связанные с катакомбами г. Одессы.— В сб.: Материалы к научно-технической конференции по инженерным изысканиям (11—15 мая 1967 г.). М., изд. ПНИИИС, 1967.

Снобкова А. И. Роль природных и антропогенных геологических процессов в развитии вертикальных смещений земной поверхности г. Москвы.— Тр. ПНИИИС, т. 16. М., 1972.

Снобкова А. И. Влияние водопонижения на оседание земной поверхности г. Москвы.— В кн.: Гидрогеология СССР. Сводный том, вып. 4. М., «Недра», 1973.

Соловьев П. А. О влиянии застройки г. Якутска на температуру многолетнемерзлых пород.— Тр. Северо-Восточного отделения Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева, вып. 1. Якутск, 1958.

Справочник по инженерной геологии, гл. 9. Техническая мелиорация пород. М., «Недра», 1974.

Строительные нормы и правила, ч. II, раздел А, гл. 13. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (СНиП II-А. 13-69). М., Стройиздат, 1970.

Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Основания зданий и сооружений (СНиП II-15-74). М., Стройиздат, 1975.

Строительство на набухающих грунтах. Тезисы докладов II Всесоюзного совещания (Ростов-на-Дону, октябрь 1972). М., 1972.

Тезисы докладов совещания «Пути улучшения и удешевления строительства и эксплуатации инженерных сооружений по защите территорий от затопления и подтопления» (I, II, III и IV дни совещания). М., Изд. ВОДГЕО, 1961.

Трусов Ю. П. Понятие о ноосфере.— В сб.: Природа и общество. М., «Наука», 1968.

Уваркин Ю. Т., Корейша М. М., Шаманова И. И. Естественные тепловые осадки многолетнемерзлых грунтов (термокарст) на севере Западной Сибири и их инженерно-геологическое значение.— Тр. ПНИИИС, т. 18. М., 1972.

Указания по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых на насыпных грунтах. СН 360-66. М., Стройиздат, 1967.

Уллас Н. Н. Проблема рационального использования территории в связи с развитием городов.— В сб.: Влияние инженерно-геологических и гидрогеологических условий на градостроительство (Доклады к конференции «Климат — город — человек»). М., Гидрометеоиздат, 1973.

Ферсман А. Е. Геохимия, т. 2. Л., Госхимтехиздат, 1934.

Хазанов М. И. Искусственные грунты, их образование и свойства. М., «Наука», 1975.

Ходьков А. Е. Искусственный промышленный карст и его гидрогеологическое значение.— Тр. ВНИИГ, вып. 35, 1959.

Хрусталев Л. Н. Температурный режим вечномерзлых грунтов на застроенной территории. М., «Наука», 1971.

Худайбергенов А. М. Антропогенные типы грунтов на территории г. Ташкента.— «Узбекский геологический журнал», 1963, № 1.

Худайбергенов А. М. Инженерно-геологические процессы и явления на территории Ташкента. Ташкент, «Фан», 1970.

Шаманова И. И. Сезонное промерзание и протаивание грунтов центральной части Печорского угольного бассейна. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. географ. наук. М., ПНИИИС, 1966.

Швецов П. Ф. Вводные главы к основам геокриологии.— В кн.: Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры, вып. 1. М., Изд-во АН СССР, 1955.

Швецов П. Ф., Бобов Н. Г. К научным основам прогноза инженерно-геокриологических явлений, вызываемых промышленным освоением участков Крайнего Севера.— В сб.: Инженерная геология и градостроительство (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1973.

Яхьяев Р. Ю. Инженерно-геологические процессы и явления трассы первой очереди Бакинского метро.— В сб. Инженерно-геологические проблемы градостроительства (Материалы Научно-технического совещания в г. Баку, 1971 г.). Изд-во МГУ, 1971.

Beaujeu J., Chabot G. Traité de Géographie Urbaine. Paris, 1963.

Calembert L. Le sous-sol.— In: Le Plan d'aménagement de la Région Liègeoise. Des presses de M. Weissenbruch. Bruxelles [s. a.].

First International Congress of the International Association of Engineering Geology, t. 1, 2, 3. Paris, 8—11 sept., 1970.

International Geological Congress. Canada, 1972. Symposium 1. Earth Sciences and the Quality of Life. Montreal, 1972.

Kratzer P. A. Das Stadtklimat. Braunshweig, 1956.

Longfield T. E. Paper read on the British Association Meeting 1932. London, 1932.

Lüttixg G. The role of geoscince in environmental science in one of the great industrial nations.— Internat. Geol. Congr. Canada, 1972. Sympos. 1. Montreal, 1972.

Macau Vilar F. El hundimiento die suelo en la cuidad de Mejico y su repercusion en los sistemas de cimentacion.— Rev. obras publicas, 1957, 105, N 9.

Le Plan d'aménagement de la Région Liègoise. Des presses de M. Weissenbruch. Bruxelles [s. a.].

Reuter F. Die antropogen-geodinamischen Prozesse aus der Sicht der Geotechnik.— Z. angew. Geol., 18 (1972) 2.

Sherlock R. L. Man as a geological agent. An account of his action on inanimate nature. London, 1922.

Thomas H. E. Changes in quantities and qualities of ground and surface waters.— In: Man's Role in Changing the Face of the Earth. Chicago, 1958.

Toulemont M. Observations géelogiques sur les accidents de dissolution de gypse dans la région parisienne.— 1 Internat. Congr. Internat. Assoc. Engineering Geol., t. 1. Paris, 8—11 sept. 1970.

Wilson G., Grace H. The settlement of London due to underdrainage of London clay.— J. Inst. Civil. Engrs., 1942—1943, N 2.

Zeevaert L. Pore pressure measurement to investigate the main source of surface subsidence in Mexico City.— Proc. 3 Internat. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. 2, 1953.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

Некоторые общие положения 5

Изученность и состояние проблемы 9

Некоторые аспекты градостроительства 15

Основные факторы и условия формирования антропогенных геологических процессов и явлений на территории города 27

Классификация антропогенных геологических процессов и явлений на территории города 40

Антропогенные геотермические процессы и явления . . 50

Антропогенные геологические процессы и явления, вызванные изменением подземной гидросферы 67

Антропогенные геологические процессы и явления, вызванные статическими нагрузками 98

Антропогенные геологические процессы и явления, вызванные динамическими и ударными нагрузками . . . 108

Антропогенные геологические процессы и явления, вызванные подземным строительством 112

Антропогенный литогенез 133

Основные закономерности развития антропогенных геологических процессов и явлений на территории городов . 154

Заключение 158

Литература 163

Федор Васильевич Котлов

АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ
НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

Утверждено к печати
Производственным и научно-исследовательским институтом
по инженерным изысканиям в строительстве
Госстроя СССР

Редактор издательства **Б. С. Шохет**
Художественный редактор **И. К. Капралова**
Художник **А. Г. Кобрин**
Технический редактор **И. Н. Жмуркина**
Корректор **В. С. Федечкина**

Сдано в набор 28/I 1977 г. Подписано к печати 20/IV 1977 г.
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага № 2. Усл. печ. л. 10,75.
Уч.-изд. л. 12,1 Тираж 1400 экз. Т-03890. Тип. зак. 4442.
Цена 1 р. 20 к.
Издательство «Наука»
117485, Москва, Профсоюзная ул., д. 94А.
2-я типография Издательства «Наука»,
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10.

1 р. 20 к.

2561