

МЕТОДИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ ОЦЕНКИ
техногенных
изменений
геологической
среды
городов



АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИНСТИТУТ ЛИТОСФЕРЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ ОЦЕНКИ
ТЕХНОГЕННЫХ
ИЗМЕНЕНИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ
СРЕДЫ
ГОРОДОВ

Ответственные редакторы:

кандидат геолого-минералогических наук Г.Л. КОФФ,
член-корреспондент АН СССР В.И. ОСИПОВ

5235

МОСКВА "НАУКА"

1990



Авторы: Г.Л.Кофф, Т.Б.Минакова, В.Ф.Котлов, Л.В.Бахирева, Т.В.Богомолова, Б.М.Дегтярев, А.Д.Жигалин, М.В.Карагодина, Е.А.Киселева, В.Н.Коломенская, М.В.Кукотенко, Э.А.Лихачева, К.Н.Ненарокова, М.С.Павлова, Н.Б.Экимян, Е.Е.Яранцева

Методические основы оценки техногенных изменений геологической среды городов/Г.Л.Кофф, Т.Б.Минакова, В.Ф.Котлов и др. — М.: Наука, 1990.—196 с.
— ISBN 5-02-006066-6

Изменение состояния геологической среды в результате техногенного воздействия ведет к неблагоприятным последствиям в сфере производственно-общественной деятельности: разрушению сооружений, оборудования, коммуникаций, ухудшению среды обитания и т.п. Авторами разработаны методические основы определения экономического ущерба, представляющего стоимостную оценку последствий, вызываемых негативными изменениями геологической среды. Предложенная модель оценки ущерба реализована на примере Москвы, охарактеризованы инженерно-геологические условия ее территории, проанализировано взаимодействие природной и технососиальной подсистем города, обоснован комплекс предупредительных и защитных мероприятий, осуществление которых способствует сохранности геологической среды города и инженерных сооружений.

Табл. 26. Ил. 23. Библиогр.: 85 назв.

Рецензенты: М.Ю.Абелев, В.М.Кутепов

Редактор А.В.Копп

Changes in geological environment as a result of the technogenic impact lead to hazardous after-effects in industrial and social activities: damage of buildings, equipment, service lines, habitat deterioration, etc. The authors have elaborated methodic fundamentals for determining economic damage implying the cost estimate of after-effects induced by the negative geological environmental changes. The model proposed for damage estimate has been realized by the example of Moscow and was preceded by the characteristics of engineering geological conditions of the area, analysis of the interaction of natural and techno-social subsystems of the city, consideration is given to the substantiation of the complex of preventive and protective measures assisting preservation of geological environment and engineering structures in a city.

ПРЕДИСЛОВИЕ

На современном этапе развития производительных сил взаимодействие техносциальной и природной подсистем (в рамках сложных природно-техногенных систем), особенно в крупных городах, все более усиливается, приобретая неблагоприятные последствия для обеих подсистем и весьма негативные (вплоть до угрожающих) для природной подсистемы. Часть природной подсистемы — геологическая среда — в условиях многофункционального использования ее городским хозяйством нуждается в систематической весьма серьезной плановой и планомерной защите от деградации. Такая защита должна предваряться компетентной оценкой состояния геологической среды и сопровождаться достоверным прогнозом его изменения.

Необходимость такой службы настолько очевидна, что не требует специального обоснования. Речь должна идти лишь о рациональной и эффективной организации такой службы.

В книге предложен вариант комплексной оценки эколого-экономических последствий взаимодействия в системе "техносциосфера города — геологическая среда". Представленная методика комплексной оценки состояния геологической среды реализована для территории г.Москвы. Результаты оценки использованы при составлении территориальной комплексной схемы охраны природы г.Москвы. Разработку данной методики авторы считают своим вкладом в оптимизацию работ по охране литосферы.

В исследовании, кроме сотрудников лаборатории инженерной геологии г.Москвы и городских агломераций Института литосферы АН СССР и НИПИ Генплана г.Москвы, принимали участие квалифицированные специалисты ИМГРЭ Мингео СССР Ю.Е.Саев, Б.А.Ревич, Е.Д.Астрахан, Р.С.Смирнова и МГЭ ПГО Центр геология С.И.Петренко и Л.П.Качесова.

Авторы выражают особую признательность Е.Б.Смирновой, Е.И.Махориной, Т.Ю.Лебедевой, Г.Г.Никифоровой, оказавшим неоценимую помощь в сборе, подготовке и обработке необходимых для этой работы материалов.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ГОРОДОВ

Свойства геологической среды

Согласно определению Е.М.Сергеева, геологическая среда — это любые горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть земной коры, которые рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, в результате чего происходит изменение природных геологических и возникновение новых антропогенных процессов, что, в свою очередь, вызывает изменение инженерно-геологических условий определенной территории.

Главнейшим компонентом геологической среды являются горные породы. Они слагают массивы, содержащие не только твердый минеральный и органический компоненты, но и газы, подземные воды, макро- и микроорганизмы. Состояние горных пород и фазовый состав воды могут быть различными: геологическая среда может быть сложена как тальми и немерзлыми, так и многолетнемерзлыми толщами. Геологическая среда включает, кроме того, различные объекты, созданные в пределах литосферы человеком и рассматриваемые как антропогенные геологические образования. Все указанные компоненты находятся в тесном взаимодействии и определяют состояние и закономерности развития геологической среды [76].

Такое понимание геологической среды, базирующееся на обобщении опыта прежде всего инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, активно способствовало осознанию необходимости рассмотрения приповерхностного слоя литосферы в качестве комплексной оболочки, имеющей в своей структуре горные породы, подземные воды, газы, биоту, геофизические поля (гравитационное, сейсмическое, электромагнитное, геотемпературное). Следует отметить, что это относится как к измененной, так и к неизменной техногенезом части этого слоя. Без рассмотрения геологической среды как системы, пожалуй, невозможно сейчас удовлетворительно решить ни одной практической задачи, связанной с геологическим обоснованием хозяйственной деятельности, анализом и прогнозом изменений самой геологической среды. Однако в вещественном отношении главная особенность последней заключается не в комплексности, а в том, что в ней наряду с естественным распространено вещество техногенное, которое является продуктом функционирования технических систем или материалом объектов техносферы. Именно это обстоятельство является тем

признаком, который оправдывает выделение геологической среды в особую систему.

Верхняя ее граница соответствует поверхности, через которую происходит энергомассообмен геологической среды с атмосферой, гидросферой и биосферой (в узком понимании), а также техносферой. Характер этого обмена обусловлен состоянием приземной части атмосферы (режимом погоды, т.е. климатом и микроклиматом), водными объектами, растительностью, элементами техносферы, рельефом, почвами и подпочвенным слоем пород, в единстве составляющими то, что называется ландшафтом, и изменяется во времени и пространстве. Нижняя граница соответствует глубине проникновения в земную кору производственной деятельности.

Таким образом, в литосфере образуется некоторое пространство - геологическая среда, в пределах которой сосуществуют природные и техногенные потоки вещества и энергии. В.Ф.Черняев под геологической средой понимает верхнюю часть литосферы, которая поглощает энергетический и вещественный поток, поступающий в нее от человеческого общества, путем частичного изменения своего состояния и структуры [80]. Такое определение, предполагающее детальное рассмотрение потоков энергии и вещества, слишком одностороннее. Разве та часть литосферы, откуда изымаются минеральные и другие ресурсы, энергия которой используется в народном хозяйстве, не является геологической средой? Вероятно, рассуждая в таком аспекте, следует говорить об энергетических и вещественных потоках, поступающих в геологическую среду со стороны техносферы вместе с аналогичными потоками из других природных сред, и об энергетических и вещественных потоках из геологической среды, обусловленных техногенными факторами. Рассмотрение именно потоков энергии и вещества позволит в наибольшей мере формализовать описание разнообразнейших процессов, происходящих в геологической среде, и факторов, их обуславливающих, и на основании этого строить единую системную модель.

Необходимо отметить, что границы геологической среды изменяются во времени по мере развития техносферы. Характер энерго- и массообмена на этих внешних границах геологической среды в существенной мере определяется геоструктурными особенностями территории. Все это наряду с дискретностью территориального распределения хозяйственной деятельности обуславливает подвижность границ геологической среды во времени, а также неоднородность ее пространственной организации.

Как природный объект геологическая среда может быть рассмотрена с системных позиций в трех аспектах. При этом необходимо учитывать, что открытые системы, каковыми являются природные и социальные объекты, активно взаимодействуют со своей внешней средой.

I. Как часть окружающей среды геологическая среда является внешней по отношению к человеку. В этом случае выполняются следующие условия, включенные в определение этого термина, - в пределах этой среды существует человек и она определяет характер его деятельности. Таким

образом, для множества антропогенных систем (социально-экономических, хозяйственно-экономических, технологических и др.) геологическая среда выступает как внешний фактор.

2. Техносфера и геологическая среда рассматриваются как две подсистемы одной системы - природно-технической геосистемы, по Г.К.Бондарнику; природно-технической системы, по В.К.Епишину; геотехнической системы, по Ю.Ф.Захарову; геолого-технической системы, по И.С.Комарову. Как правило, под такой системой понимается система инженерного сооружения (или комплекса сооружений) с частью геологической среды в зоне его (их) влияния, имеющей операционально-фиксированные пространственно-временные границы [4, 18]. Употребление здесь словосочетания "комплекс сооружений" означает, что они функционально объединены. Поэтому из определения следует, что для выделения системы используется только одна цель. Если же техническая подсистема является достаточно сложно организованной и носит многоцелевой характер, то конструирование самих систем оказывается весьма затруднительным.

3. В целях рационального использования и охраны геологической среды применение природно-технических систем явно недостаточно, ибо даже до их проектирования должны быть изучены все возможности интересующей нас части среды и оценены все варианты ее использования с учетом потенциальных негативных изменений. В последние годы стали активно разрабатываться территориальные комплексные схемы охраны природы (ТКС ОП), основная задача которых - определить комплекс целей и мероприятий по сохранению и рациональному использованию окружающей среды соответствующей территории, сообразуясь с долгосрочными перспективами развития народного хозяйства и демографических процессов. В связи с разработкой этих схем возник аспект рассмотрения геологической среды как единой системы. При этом имеется в виду вычленение из нее системного объекта, внешнюю среду которого составляют соседние литосферные блоки, геофизические поля, поверхностная гидросфера, атмосфера, биота и техносфера. Поскольку техносфера в целом имеет полифункциональный характер и оказывает разнообразные воздействия на геологическую среду, последняя должна быть рассмотрена с различных точек зрения для ее наиболее рационального использования. Поэтому в основе разработки ТКС ОП должен лежать принцип системной организации всей инженерно-хозяйственной деятельности в конкретных природных условиях.

Геологическая среда обладает рядом фундаментальных свойств, которые детально рассмотрены в книге Г.К.Бондарника [4]. Остановимся кратко на них. Важнейшим свойством является изменчивость геологической среды как всеобщее свойство материи (ее способность изменяться в пространстве и во времени), отражающее тенденцию ее развития (эволюции). Изменчивость геологической среды в пространстве и времени отвечает формам существования материи. Изменение геологической среды во времени, фиксируемое как изменение ее элементов, их отношений (структуры) и свойств, есть геологический процесс развития Земли и причина нестационарности ряда

физических полей. При исследовании пространственной изменчивости принимается допущение о неизменности структуры и свойств геологической среды в физическом времени. Исследование изменчивости какой-либо области геологической среды предполагает получение и анализ структуры пространственно-временного поля геологического параметра.

Изменчивость некоторого геологического объекта отражает его свойства пространства и времени. Она формирует неоднородность объекта, выявляющуюся в различии его свойств в разных точках. Неоднородность, таким образом, есть проявление изменчивости, ее следствие. Можно сказать, что неоднородность более "статична", чем изменчивость.

Каждому уровню организации геологической материи отвечает свой уровень неоднородности. Так, можно рассматривать неоднородность геологической среды, обусловленную принадлежностью ее элементов к разным формациям; генетическую (в широком смысле) неоднородность; неоднородность литологического состава пород или неоднородность минерального состава подземных вод и т.п.

Неоднородность геологической среды проявляется в таких важнейших ее свойствах, как анизотропность и симметрия. Анизотропность отмечается на всех уровнях организации геологической среды: в виде структурной этажности, ярусности, фациальной изменчивости, слоистости; в виде различия показателей физико-механических свойств пород и мер их рассеяния в главных направлениях изменчивости и по глубине. Наиболее ярким ее выражением являются существенные различия в структуре и свойствах геологической среды в латеральной плоскости и по глубине.

Геологическая среда не просто анизотропна по своим структуре и свойствам. Ей свойственна "высшая" форма анизотропности: симметрия - дисимметрия. Симметрию тоже следует считать фундаментальным свойством геологической среды, которое обнаруживается на всех уровнях ее организации, начиная с уровня минералов и кончая уровнем геооболочек.

Важнейшее свойство геологической среды - дискретность. Дискретность твердого минерального вещества проявляется в виде пористости, пустотности, трещиноватости, тектонической нарушенности и обуславливает присутствие в геологической среде жидкого, газового и биологического компонентов. Она определяет: пространственные соотношения этих компонентов; свойства геологической среды, учитываемые при ее инженерно-геологической оценке; масштабный эффект в свойствах; граничные условия выделения элементов геосистем. От характера дискретности твердого минерального вещества зависят свойства жидкой и газообразной фаз, их подвижность, структура, физико-химическая активность.

Важнейшим фундаментальным свойством геологической среды, отличающим ее от простых тел, является организованность, которая прежде всего выражается в уровнях организации геологической материи - минеральном, горнопородном, формационном, в наличии структур различных уровней, обуславливающих анизотропность: симметрию - дисимметрию. Главное его проявление заключается в том, что в силу информационных свойств геологичес-

кого процесса в различных областях пространства в разное время создаются те же самые элементы (компоненты) геологической среды с аналогичными отношениями и свойствами.

Геологическая среда как подсистема природно-технической системы (по Г.К.Бондарьку) обладает специфическими, системными, свойствами: целостностью, организованностью, иерархичностью, устойчивостью, управляемостью, способностью к адаптации и др. Функционирование технической подсистемы указанной системы возможно лишь в определенных границах изменения состояния геологической среды, описываемого некоторыми параметрами. Область, в пределах которой допустимо изменение этих параметров, носит название области гомеостазиса системы. Эта область определяет устойчивость и взаимосвязанное с ней управление системой. Задача управления фактически состоит в достижении оптимального режима функционирования технической подсистемы в пределах гомеостазиса природной подсистемы, т.е. геологической среды. Нарушение гомеостатических пределов влечет за собой необходимость проведения защитных мероприятий и тем самым введения в систему новых объектов управления [18].

Устойчивость сложодинамических систем, какими являются природно-технические, и возможность управления ими неодинаковы в разных природных и технологических условиях. Характерной чертой устойчивости сложодинамических систем является многомерность, т.е. способность системы ассимилировать разнообразные воздействия внешней среды. Отсюда следует, что абсолютно устойчивая система (идеальная) не изменяется ни при тепловых, ни при механических, ни при химических и других воздействиях. Чем более многомерна устойчивость сложодинамической системы, чем от большего числа элементов она зависит, тем в меньшей степени изменение отдельного элемента оказывает влияние на состояние всей системы, тем в большей степени эта система устойчива.

В литературе в области инженерной геологии с термином "устойчивость" обычно связывают устойчивость склонов и откосов, однако в ряде работ рассматриваются и другие типы устойчивости (вернее, устойчивости иных геологических систем): суффозионная устойчивость грунтов, устойчивость закарстованных территорий, устойчивость пород вокруг горной выработки и др. Аналогичным образом говорят и об устойчивости лессовых толщ к просадке, береговых склонов к абразии и боковой эрозии, песчаных грунтов к воздействию ветра (развитие эоловых процессов) и т.д.

В инженерно-геологической литературе в отличие от географической и экологической почти не встречается общего понятия устойчивости и не разработана общая теория устойчивости геологических систем, как, например, ляцуновская теория устойчивости. По нашему мнению, это обусловлено прежде всего особенностями геологических систем, которые в отличие от эко- и геосистем (в географии) в зависимости от целей исследований могут быть как иерархическими, так и гетерархизированными, самыми разнообразными по своей структуре и составу элементов и по этим причинам несопоставимы друг с другом. В связи с этим при выделении геологической

системы в качестве объекта отдельного инженерно-геологического исследования большое значение приобретает понятие цели (аксиологический подход). Соответственно понятие устойчивости в инженерной геологии разрабатывается применительно к разным геологическим системам и их компонентам: отдельным видам грунтов или грунтовых массивов (торфяных, лессовых и др.), геоморфологическим элементам (днищам, склонам, водораздельным пространствам) и т.д. Поэтому и оценка устойчивости осуществляется по различным параметрам.

Типологизация свойств природно-технических систем имеет большое практическое значение и должна выполняться с большой степенью конкретизации при разработке ТКС ОП, целевых программ мониторинга геологической среды и т.п. Набор гомеостатически значимых параметров, характеризующих свойства конкретной системы, диктует основные требования к информации, получаемой при различных видах геологической деятельности человека. Цели управления и контроля за состоянием геологической среды задают критерии оптимальности информации, необходимой и достаточной для системного анализа и анализа геологической среды на предпроектной, проектной, строительной и эксплуатационной стадиях [18].

Техногенное воздействие на геологическую среду в рамках природно-технических систем (ПТС) вызывает в ней ряд изменений, которые могут негативным образом отражаться на функционировании системы. По отношению к источнику воздействия (техногенному компоненту системы) геологический компонент играет роль объекта, подвергающегося воздействию (первичное воздействие), однако в случае качественного своего изменения последний сам может оказаться источником дополнительного (вторичного) воздействия.

Опыт показывает, что наибольшее влияние в плане изменения геологической среды оказывают длительные воздействия. Кратковременное воздействие, если только оно по интенсивности не превосходит деструктивный уровень, обладает меньшим изменяющим потенциалом, чем воздействие менее интенсивное, но осуществляемое постоянно или в течение большого отрезка времени. Длительное техногенное воздействие на геологическую среду обуславливает возникновение взаимодействия на двух уровнях.

На первом уровне наблюдается взаимодействие воздействующих факторов (энергии, биомассы или вещества) с геологической средой, вызывающее ее изменение в целом или отдельных ее компонентов. В этом случае геологическая среда в системе играет роль объекта. С учетом наиболее часто встречающихся видов массо- и энергообмена источников с окружающей средой можно считать, что результатом взаимодействия на первом уровне, как правило, является нагревание, механическое, химическое и биологическое изменение геологической среды (или отдельных ее компонентов), что обуславливает изменение инженерно-геологических и экологических условий.

На втором уровне происходит взаимодействие между измененной геологической средой и техногенными объектами, а также объектами косной и живой природы, включая человека (в рамках ПТС), для которых геологическая среда является средой существования или обитания. Этот уровень

взаимодействия отвечает второй стороне дуализма геологической среды, когда последняя выступает в качестве источника вторичного воздействия на упомянутые выше объекты.

Второй уровень может быть подразделен на три подуровня: 1) низший (инженерный) подуровень взаимодействия измененной геологической среды с инженерными сооружениями, для которых геологическая среда является основанием или вмещающей средой; 2) средний (природный), который охватывает взаимодействие геологической среды, приобретшей новые качества, с фито-и биоценозами; 3) высший (гигиенический), отображающий воздействие геологической среды непосредственно на человека. Говоря о среднем и высшем подуровнях, геологическую среду следует рассматривать как среду обитания.

На состояние геологической среды, в частности на направление и скорость протекающих в ней процессов, оказывает большое влияние ряд внешних по отношению к ней факторов. Характер и масштабы подобного влияния зависят как от параметров самой среды, так и от природы, направленности и интенсивности внешних факторов.

Влияние атмосферы на геологическую среду можно разделить на прямое и косвенное. Под прямым влиянием следует понимать воздействие воздушных масс, контактирующих с земной поверхностью и вызывающих выветривание, дефляцию, вообще перемещение пород (например, передвижение барханов или катастрофические перемещения при ураганах, тайфунах, смерчах и т.д.). Косвенным влиянием следует считать воздействие воздушных масс на гидросферу и биоту, изменяющее характер их взаимодействия с геологической средой (например, усиление волновой переработки берегов под воздействием ветра, изменение состояния почв и подстилающих пород в результате гибели леса, вызванной ветровалом). Сюда же следует отнести и воздействия, вызванные транспортирующей ролью атмосферы: переносом тепла, осадков, загрязнений, усилением или ослаблением транспирации в зависимости от силы и направления ветров. Разумеется, рассмотрение косвенных влияний невозможно без оценки прямого влияния тех компонентов природной среды, через которые они передаются.

Поверхностные воды оказывают на геологическую среду еще большее воздействие. Почти все экзогенные процессы происходят при участии поверхностных вод и их интенсивность зависит наряду с характеристиками самой геологической среды от водного баланса территории; подземные воды часто прямо связаны с поверхностными водами. Косвенное воздействие поверхностных вод осуществляется в первую очередь через их влияние на атмосферные процессы (нагревание и охлаждение воздушных масс, насыщение их влагой и т.д.). В связи с техногенным воздействием следует также сказать и о переносе загрязняющих веществ водными массами. В качестве примера существенного комплексного процесса подобного рода можно привести факт отложения солей тяжелых металлов на границах водных масс различной солености. Косвенное воздействие может проявляться также и в изменении чувствительности геологической среды к некоторым факто-

рам, например повышение сейсмичности в районах возведения крупных водохранилищ.

Влияние биоконтура на геологическую среду проявляется прежде всего в почвообразующем воздействии на материнскую породу. Следует указать и на транспирационную функцию растительности, изменяющую в ряде случаев водный баланс территории. Ассимиляция из атмосферы двуокиси углерода, азота и ряда других веществ, приводящая к образованию биогенных отложений, также оказывает влияние на состояние геологической среды, однако обычно в более крупном временном масштабе. Все эти воздействия, связанные с энерго- и массообменом, являются прямыми. Косвенное влияние биоты происходит через гидросферу и атмосферу. Здесь можно указать на роль растительности в охране малых рек умеренного пояса, в создании более мягкого микро- и даже макроклимата, в поддержании химического состава атмосферы.

Во всех перечисленных случаях можно выделить региональные и локальные воздействия атмо-, гидро- и биоконтуров на геологическую среду. В качестве примера регионального воздействия можно привести образование пустынь, связанное со спецификой водной и атмосферной циркуляции, на западных побережьях Южной Америки и Южной Африки. Локальные воздействия обычно ограничены более мелкими неоднородностями внешних факторов, соответствующими ландшафту или экосистеме. Очевидно, что разнообразие локальных воздействий значительно выше и теоретически почти бесконечно.

Таким образом, при прогнозировании изменений геологической среды необходимо учитывать факторы атмо-, гидро- и биосферы. Существующая информация о состоянии атмо- и гидросферы достаточно обширна, подробна и, что особенно важно, собирается в режиме мониторинга. Важнейший вопрос заключается в том, чтобы отобрать те показатели, которые связаны с изменениями геологической среды функциональной зависимостью. Очевидно также, что эти показатели будут различными в разных климатических и геологических условиях. При их выборе, видимо, следует учитывать: 1) преобладающие в районе (подзоне, зоне) неблагоприятные геологические и инженерно-геологические процессы; 2) наиболее опасные (по экспертной оценке) явления в атмосфере и гидросфере; 3) устойчивость существующих экосистем и их наиболее уязвимые элементы.

В табл. I показано соотношение экзогенных геологических процессов и факторов внешней среды, оказывающих влияние на направление и интенсивность процессов.

Наиболее важными являются показатели геологической среды, которые характеризуют ее состав, строение и динамику развития. Их совокупность определяет гидрогеологические и инженерно-геологические условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений, всей хозяйственной деятельности человека, в результате которой эти условия активно изменяются. Именно поэтому гидрогеологические и инженерно-геологические условия, а для территории криолитозоны и геокриологические условия должны рассматриваться как главные особенности геологической

Т а б л и ц а I. Влияние внешних факторов на развитие процессов и явлений в геологической среде

Процессы в геологической среде	Внешние факторы, изменяющие характеристики процессов	Количественная характеристика внешних факторов
Переработка берегов морей, озер, водохранилищ	Ветер, растительность, ледовый покров, уровень воды	Скорость, продолжительность, мощность, амплитуда и частота колебаний, распространенность, вид и состояние растительности
Русловые	Расход воды	Абсолютная величина, сезонная неравномерность
Плоскостная и линейная эрозия	Осадки, растительность, таяние снегов	Общее количество, количество ливней, количество длительных дождей, скорость, распространенность, вид и состояние растительности
Сели	Осадки, таяние снегов и ледников	Количество ливней, скорость потока, площадь водосборного бассейна
Лавины	Осадки (снег), температура	Общее количество, неравномерность, колебания
Образование болот	Растительность, осадки, солнечная радиация	Количество, распространенность и вид растительности
Просадки лессовых пород	Осадки	Общее количество, количество ливней, распространенность и вид растительности
Карстово-суффозионные	Осадки	Общее количество, химический состав
Оползневые	Осадки	Количество продолжительных дождей
Криогенные	Температура, расход воды в реках, температура, осадки (снег), наличие водохранилищ	Переход через 0°C, неравномерность, среднегодовая температура, общее количество, площадь и объем
Выветривание	Осадки, температура	Общее количество, неравномерность, сезонная контрастность, число переходов через 0°C
Усадка и набухание	Осадки, температура	Общее количество, сезонная контрастность

среды [76]. Для геологической среды города показателями являются:

1) рельеф (уклоны поверхности, степень горизонтальной и вертикальной расчлененности); 2) структурно-тектонические условия участков; 3) расчетная сейсмичность; 4) характер и распространенность экзогенных геологических процессов; 5) мощность и состав рыхлых отложений; 6) гидрогеологические условия; 7) состояние и свойства пород; 8) характеристика отложений особого состава, состояния и свойств (слабых, техно-

генных, заторфованных, засоленных); 9) характеристика нарушенных территорий; 10) характеристика геофизического и геохимического полей.

Изменяющаяся геологическая среда оказывает обратное влияние на природные и природно-техногенные объекты. В результате прямых и обратных воздействий проявляются как позитивные, так и негативные изменения условий функционирования указанных объектов, в том числе различных экосистем. В этом случае можно говорить, что геологическая среда обладает определенными экологическими качествами.

Обратное влияние ГС на атмо-, гидро- и биосферу достаточно значимо. Атмосферная циркуляция определяется (как в глобальном, так и в региональном масштабе) в конечном счете притоком солнечной энергии и строением земной поверхности. Прямое воздействие на атмосферу оказывает массо- и энергообмен приземных слоев воздуха и геологической среды. Поверхностная гидросфера определяется как количеством осадков и температурным режимом, так и состоянием геологической среды, выражающимся в рельефе местности и в характеристиках толщ пород, обуславливающих, в частности, связь поверхностных и подземных вод.

Роль геологической среды в характере биологических сообществ является решающей (наряду с климатическими условиями). Прямое ее воздействие зависит от физико-механических, химических и минералогических характеристик материнских пород, комплекса гидрогеологических характеристик, микро- и макрорельефа. Косвенное воздействие проявляется (через атмо- и гидросферу) в изменении среднезональных показателей интенсивности солнечной радиации, влагообеспеченности, скорости ветра и т.д.

Среди геологических факторов, оказывающих существенное влияние на экосистемы и хозяйственные объекты, можно выделить косвенные и прямые. К числу косвенных можно отнести условия залегания геологического тела определенного порядка, его пространственные размеры, экспозицию, углы наклона, наличие неоднородностей, проявляющихся во внешнем контуре (разломы, ступени, западины, структурно-текстурная неоднородность, особенности литолого-петрографического состава и др.).

Среди косвенных геоэкофакторов выделяются региональные и локальные. Косвенные региональные геоэкофакторы определяют характер внешних вещественно-энергетических и информационных связей (в том числе и временных) в экосистемах и природно-технических системах низких уровней иерархии. Так, эти факторы, реализуясь в ландшафтных системах, определяют интенсивность солнечной радиации, температуру и влажность воздуха, количество атмосферных осадков и характер поверхностного стока, скорость ветра, а соответственно и скорость переноса и оседания спор и семян и др.

Косвенные локальные геоэкофакторы соответствуют неоднородностям геологических тел (или их фрагментов) более высоких порядков и формируют особенности экосистем, представляющих более узкие популяционные группировки, и режим функционирования локальных природно-техни-

ческих систем. К этим факторам относятся тектонические, эрозийные, эрозийно-тектонические элементы, к которым приурочены склоны, трещины, микроуступы, западины и др. В составе локальных геоэкофакторов выделяются и локальные зоны с развитием характерных пород, отличных по составу и свойствам от вмещающих (жилы, дайки, торфяные котлованы и др.).

К числу прямых геоэкофакторов относятся в первую очередь следующие: физико-механические свойства, химический и минеральный состав, тепло-влажностность, структурно-текстурные характеристики (пористость, ориентация микрослоев, гранулометрия, органические включения, микробиота), степень консолидации пород. Наиболее важными прямыми геоэкофакторами являются комплексы факторов, выраженных в виде геодинамических процессов: эрозийных, карстово-суффозионных, мерзлотных (термокарстовых, солифлюкционных и др.), оползневых и др. К ним относятся и гидрогеологические характеристики соответствующего геологического тела (мощность зоны аэрации, тип взаимосвязи поверхностных и подземных вод, уровни и напоры подземных вод, их химический состав, характер водоупора, взаимосвязь с нижележащими водоносными горизонтами, фильтрационные характеристики, степень защищенности от поверхностного загрязнения и др.). В зависимости от объема соответствующих геологических тел прямые геоэкофакторы подразделяются на региональные и локальные.

Помимо природных, могут быть выделены и антропогеоэкофакторы, связанные с трансформацией геологической среды в процессе предшествующего взаимодействия с обществом. Если природные геоэкофакторы группируются в пределах естественных геологических границ, сформированных в процессе предшествующей геологической истории территории (протограниц), то антропогеоэкофакторы проявляются в рамках амфиграниц (от греч. "амфи" - с двух сторон), образующихся в результате изменения свойств отдельных блоков геологической среды под воздействием человека. Амфиграницы разделяют сферы изменений, появляющихся в зонах инфильтрационного (влияния водозаборов, на участках проявления "самоподтопления" и др.), физического (в полосах прохождения ЛЭП, теплопроводов, автодорожных и железнодорожных магистралей и др.), химического (в пределах ореолов рассеяния выбросов, в зонах бытовых и производственных свалок, шламонакопителей, отстойников и др.) и биологического воздействий.

Таким образом, множество факторов геоэкологического пространства (пространства геоэкологических факторов) может быть записано в виде
$$M(\Phi) = \{ \Sigma [\Sigma (\Phi_{кр}) + \Sigma (\Phi_{кл})] ; \Sigma [\Sigma (\Phi_{пр}) + \Sigma (\Phi_{пл})] ; \Sigma [\Sigma (\Phi_{ар}) + \Sigma (\Phi_{ал})] ; b ; t \},$$
 где $\Phi_{кр}$ - косвенные геоэкофакторы; $\Phi_{пл}$ - прямые геоэкофакторы; $\Phi_{а}$ - антропогеоэкофакторы (индексы p или l - соответственно региональный или локальный факторы); b - характеристика природного фона; t - параметр, характеризующий временную динамичность факторов.

Значимость геоэкофакторов в трансформации экосистем и природно-техногенных систем зависит от зонально-климатических условий, адаптационных возможностей экосистем и хозяйственных объектов, интенсивности и времени воздействия, взаиморасположения экосистем и хозяйственных объектов в ландшафтах (естественных и искусственных), определяющего вещественно-энергетические связи между ними.

Особенности геологической среды в городе

Одной из характерных черт развития народного хозяйства СССР является рост урбанизации. За годы Советской власти построено более тысячи новых городов и более двух тысяч поселков городского типа. В ходе урбанизации возникают десятки новых городских и промышленных агломераций. Предусмотрено дальнейшее развитие промузлов и городов как в условиях интенсивно освоенной геологической среды, так и на вновь осваиваемых и легко уязвимых территориях севера и востока страны.

Анализ и прогноз изменений геологической среды в городах являются сложной проблемой, включающей одновременно изучение территориальных инженерно-хозяйственных особенностей, геологической среды, условий их взаимодействия. Эта проблема имеет различные целевые, масштабные, пространственно-временные аспекты. Сегодня из-за несогласованности учета динамики природных и социально-экономических факторов, недостаточного организационного, правового, информационного, методического обеспечения зачастую возникают многочисленные конфликтные ситуации разного свойства, в том числе и изменения окружающей среды, наносящие огромный ущерб народному хозяйству.

Геологическая среда города является динамичной развивающейся системой. Динамика ее развития определяется непрерывной интенсификацией различных видов хозяйственной деятельности, которые, по существу, представляют собой факторы возмущения геологической среды. Мало того, различные типы возмущений, являющиеся отражением различных видов хозяйствования, концентрируются на ограниченных территориях, а вследствие этого влияют друг на друга через геологическую среду.

В настоящее время роль геологической среды как компонента сложных систем города значительно возрастает в силу ряда обстоятельств, важнейшими из которых являются: 1) увеличение мощности производства и усложнение городской структуры городов; 2) повышение напряженности при использовании новых территориальных, в том числе новых литосферных, ресурсов, характеризующихся в целом более сложными условиями инженерной подготовки, застройки, эксплуатации по сравнению с ресурсами, освоенными ранее; 3) конфликтность ситуаций освоения, из-за чего подготовка и эксплуатация некоторых территорий сопровождается ухудшением качества городской среды на других взаимосвязанных участках; 4) рост города "вверх" и "вниз", что включает в работу новые структурные этажи литосферы; 5) возрастание интенсивности взаимодействия природных и социальных факторов.

Применительно к геологической среде урбанизированных территорий выделяются три ее социально-экономические функции, введение которых будет естественным, если рассматривать геологическую среду и как среду, и как средство производственной деятельности: 1) функция источника сырьевых и энергетических ресурсов; 2) функция литогенной основы техногенных ландшафтов в целом и материального ресурса для размещения хозяйственных систем в частности; 3) функция, пока еще плохо осознаваемая в качестве социально-экономической, заключающаяся в способности геологической среды к переносу и преобразованию вещественных и энергетических потерь хозяйства. Третья функция имеет исключительно важное значение для управления в области рационального использования геологической среды. Дело в том, что недоучет последствий техногенного изменения природных закономерностей переноса и преобразования вещества и энергии в геологической среде может приводить к существенным экономическим потерям, о чем свидетельствует уже немалый опыт. Изучение же и исследование этих закономерностей дает принципиальную возможность сохранять или создавать состояния геологической среды, благоприятные для функционирования хозяйственных систем.

В последние годы стал также вполне очевидным факт существенного влияния изменений геологической среды урбанизированных территорий на состояние ресурсов, принадлежащих природным системам, представляющим собой основные элементы наземного ландшафта (водные объекты, почвы, растительность). В связи с этим очевидным является и то, что вызываемые функционированием городского хозяйства изменения геологической среды оказывают заметное влияние на состояние хозяйственных систем агропромышленного и других типов, располагающихся вблизи городских поселений. Во многих случаях приходится уже говорить о необходимости учета взаимовлияния через геологическую среду различных хозяйственных систем.

В городах сосредоточены наиболее концентрированные и многообразные воздействия человека на геологическую среду, поэтому правомерно города называть эпицентрами антропогенных воздействий [38]. Город специфически воздействует на геологическую среду, что обусловлено его особенностями. В нем осуществляются различные виды строительства, ведется многоотраслевое хозяйство, представлены самые разнообразные виды инженерной и хозяйственной деятельности, с чем связано разнообразие воздействий и изменений геологической среды. Негативные изменения особенно ощутимы в индустриальных и крупных городах, где нарушаются природные ландшафты, рельеф, состояние пород, подземных вод, естественный ход геологических процессов. Очень важно в градостроительных мероприятиях усиливать оздоровительные функции компонентов среды, устранять или ограничивать действие вредных факторов, сохранять все здоровое, полезное и красивое в природной среде города и улучшать окружающую, в том числе и геологическую среду. В последнее время

возникла проблема создания в городах искусственных элементов геологической среды: форм рельефа, породных массивов с новыми заданными свойствами, искусственных почв, подземных хранилищ воды, нефти, газа и др. [38].

Все процессы, проявление которых можно предполагать в пределах города, можно подразделить на несколько групп: процессы переноса вещества водными потоками в открытых руслах или на склонах (русловые процессы, эрозионный состав, оврагообразование, сели и т.д.); геофильтрационные (изменение напоров и уровней подземных вод, питание и разгрузка, водообмен между водоносными горизонтами, водоносными горизонтами и поверхностными водотоками и т.д.); процессы тепломассопереноса в горных породах и подземных водах (диффузионный процесс, конвективный перенос в геофильтрационном или электрическом поле, макродисперсия и сорбция, растворение и выщелачивание горных пород и т.д.); процессы механической трансформации горных пород (упругие и упругопластические деформации, вибрации, пластическое и вязкопластическое течение, уплотнение, разрушение горных пород, разжижение, суффозия и т.д.); геомикробиологические (процессы кругооборота серы, железа, азота и т.д., происходящие при активном участии микроорганизмов); сложные, зоны проявления которых, по существу, являются местами парагенезисов каких-либо групп процессов, перечисленных выше (карстово-суффозионные, оползневые и т.д.).

5235
Указанные процессы возникают или интенсифицируются в результате влияния различных природных и техногенных факторов. В табл. 2 приведен перечень техногенных факторов, действующих на территориях городов, объектов их воздействия и последствий. В соответствии с функциональным профилем города формируется свой специфический комплекс антропогенных изменений природной обстановки.

Изменения рельефа связаны с застройкой, благоустройством, вертикальной планировкой городской территории и стихийным накоплением антропогенных образований различных типов. В каждом городе происходит понижение отметок поверхности, вызываемое антропогенными процессами: устройством долговременных искусственных выемок (карьеров, каналов, дорожных выемок, рвов и др.), осадками, просадками и провалами поверхности, срезками возвышений, уступов, выколаживанием, террасированием склонов и др. Повышение отметок связано со строительным и хозяйственным освоением (насыпи, рефулирование), складированием грунтовых отвалов из подземных и поверхностных выработок (терриконы высотой до 300 м, пульпохранилища, хвостохранилища, грунтовые свалки), складированием промышленных, строительных и хозяйственных отходов, засыпкой речных долин, оврагов, балок, озер, болот и прудов, устройством долговременных земляных сооружений (городищ, курганов, дамб, валов, плотин, дорожных насыпей), стихийным накоплением субаэриальных (культурные слои) и субаквальных (осадкообразования в искусственных водоемах) антропогенных отложений, образованием подземных льдов, гидратационным набуханием связанных грунтов, гравитационным выпором.

2.Зак.178

Т а б л и ц а 2. Техногенные факторы, действующие на территории городов

Техногенный фактор	Элементы природной среды - объект воздействия	Ведущие процессы	Доминирующее поле
Здания и сооружения промышленного и гражданского назначения (наземные и подземные)	Рельеф, породы, грунтовые воды	Техноденудация, техноседиментация, уплотнение грунтов, изменение уровня грунтовых вод, изменение температурного режима грунтов и воздуха, загрязнение атмосферы, изменение ветрового режима	Статико-механическое площадное, инфильтрационное, тепловое, химическое
Тепловая сеть	Породы, грунтовые воды, рельеф	Тепловое загрязнение, карст, термокарст и другие мерзлотные процессы	Тепловое
Электрическая сеть (наземная и подземная)	Породы, растительность, животный мир	Электростатическое поле, блуждающие токи	Электромагнитное электрическое
Водоснабжение	Породы, грунтовые и подземные воды, рельеф	Истощение запасов подземных вод, подтопление, заболачивание, суффозия, карст, проседание земной поверхности	Гидродинамическое, инфильтрационное
Транспорт автомобильный, железнодорожный, электрический	Породы, грунтовые воды, атмосфера	Вибрация, уплотнение пород, загрязнение грунтовых вод, пород и атмосферы, блуждающие токи	Динамико-механическое, химическое, органическое, электрическое
Отходы промышленные и бытовые (свалки поля орошения, канализационная сеть)	Породы, рельеф, грунтовые воды	Техноседиментация, загрязнение вод и недр, уплотнение и разуплотнение пород, микробиологическая активизация	Статико-механическое, химическое, биологическое, тепловое
Выбросы в атмосферу	Атмосфера, породы	Загрязнение атмосферы, выпадение осадков	Химическое
Захоронения (кладбища)	Породы, грунтовые воды	Органохимическое разложение, загрязнение вод	Биологическое, химическое, тепловое
Техногенные отложения	Рельеф, породы, грунтовые воды	Техноседиментация, уплотнение, создание техногенно-аккумулятивных форм рельефа, изменение уровня грунтовых вод	Статико-механическое, инфильтрационное

Таблица 2 (окончание)

Техногенный фактор	Элементы природной среды - объект воздействия	Ведущие процессы	Доминирующее поле
Наземные и подземные выработки	Рельеф, породы, грунтовые воды	Техноденудация, изменение уровня грунтовых вод	Статико-механическое, инфильтрационное
Асфальтирование	Рельеф, породы, грунтовые воды	Нарушение инфильтрационного и теплового режима	Инфильтрационное, тепловое
Гидросооружения	Поверхностные и грунтовые воды, рельеф	Осушение, обводнение	Инфильтрационное, тепловое

Основные исторические закономерности в антропогенном изменении рельефа городов: преобладание повышения отметок над их понижением, стирание геоморфологических границ, постепенное исчезновение природного микрорельефа, появление антропогенного микрорельефа. Наиболее интенсивное изменение рельефа характерно для городов горных стран [36].

Город изменяет условия питания, стока, разгрузки, уровенный и температурный режим и химический состав подземных вод: 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 столь сильно загрязняются, что перестают служить источником водоснабжения. Стабильный естественный режим замещается неустановившимся искусственно нарушенным режимом подземных вод.

В пределах города уровень подземных вод может понижаться и повышаться, однако в одних городах преобладает его понижение, а в других - повышение. Почти во всех крупных городах, где ведутся длительные и интенсивные откачки подземных вод, сформировались депрессионные воронки. Диаметр их достигает десятков и сотен метров. Пьезометрические уровни некоторых артезианских горизонтов в ряде городов значительно понизились, м: Лондон - 100, Делано - 70, Киев - 65, Москва - 110, Ленинград - 60 и т.д. Повышение уровней вызывают следующие антропогенные факторы: подпор уровня рек, инфильтрация из водохранилищ, каналов, прудов, полей фильтрации, утечки воды из подземных сетей и резервуаров, спуск технических и хозяйственных вод, искусственные поливы, уничтожение естественных дренажей, конденсация влаги под зданиями и сооружениями, подпор вод подземными сооружениями и пр. Величина повышения уровней колеблется от 0 до 100 м, чаще составляет 2-10 м. В некоторых городах повышение уровня носит крупноплощадной характер. Величина подтопления на отдельных участках в городах достигает следующих размеров, м: Запорожье - 30, Ростов-на-Дону - 10-20, Одесса - 10-15, Кривой Рог - 6-18, Челябинск - 8-12, Херсон - 9-10, Никополь - 9, Саратов - 4-6, Мелитополь - 3-7, Тбилиси - 8, Ташкент - 2-4, Киев -

2-4, Баку - 2-6. Подтопление вызывает затопление подвалов, просадки лессовых грунтов, понижение несущей способности грунтов, осадки и деформации зданий и сооружений. Подтопление городских территорий - современная острая градостроительная проблема [36].

Для урбанизированных территорий характерно химическое, бактериальное и тепловое загрязнение подземных вод. Наибольшему загрязнению подвергаются грунтовые и трещинно-карстовые воды. При этом основными источниками загрязнения являются промышленные и бытовые отходы, технологические растворы, выхлопные газы автотранспорта, утечки горюче-смазочных материалов, реагенты, применяемые на улицах городов для борьбы с гололедом и повышения устойчивости оснований сооружений, загрязненные поверхностные воды и др.

Ф.И.Тютюнова [77] в городах выделяет следующие зоны, имеющие специфику загрязнения подземных вод: 1) промышленную, 2) промежуточную зеленую, 3) селитебную, 4) переходную к сельскохозяйственным пригородам. Из приведенных в этой работе данных следует, что спектр загрязняющих компонентов в этих зонах чрезвычайно разнообразен.

Города оказывают большое влияние на развитие, ход и направленность современных геологических процессов. Последние разделяются на три категории: 1) природные, не испытывающие влияния деятельности человека; 2) природно-антропогенные - природные геологические процессы, количественно и качественно измененные человеком; 3) антропогенные, возникновение и развитие которых целиком вызвано деятельностью человека. Последние две категории получают наибольшее развитие. Почти все виды современных экзогенных геологических процессов преобразуются и изменяются. Воздействию человека подвержены выветривание пород, оползни, осыпи, эрозия, абразия, заболачивание, карст, суффозия, засоление, рассоление, солифлюкция, морозное выветривание, термокарст, образование наледей, подземных вод и пр. При этом в городах может усиливаться, ослабляться и даже прекращаться развитие отдельных геологических процессов [36].

С изменениями состава, состояния и свойств пород связаны многие антропогенные геологические процессы и явления, которые в зависимости от их причинности и характера типизируются в генетические комплексы [36].

Комплекс антропогенных изменений свойств пород и возникающих при этом геологических процессов, вызванных искусственным преобразованием состава и структуры пород средствами технической мелиорации и стихийными воздействиями. В результате силикатизация, смолизации, битумизации, цементации, осолонцевания, карбонатизации, ожезления и других воздействий на состав и структуру пород изменяются их свойства в направлении повышения монолитности, связности, повышения несущей способности, понижения водо- и газопроницаемости, устранения просадочности, размокаемости, пластичности, набухаемости и других нежелательных свойств.

Комплекс изменений пород и приуроченных к ним геологических процессов, вызванных нарушением естественного термического режима, имеющих большое распространение и значение в зонах многолетней и сезонной мерзлоты. Термическое поле Земли в городах изменяется в направлении повышения (преобладает) и понижения температуры: протаивание мерзлых пород, изменение фазового состава, распад криогенных структур и текстур, термопросадки, изменение влажности, консистенции, пластичности, термоусадки, окаменение, плавление и пр. В геокриозоне термокарст, термопросадки, солифлюкция, деградация многолетней мерзлоты и другие широко развиты в городах Якутске, Верхоянске, Воркуте, Игарке, Магадане, Салехарде, Чите и др.

С геологической деятельностью вод антропогенного характера связаны химические изменения пород и процессы антропогенного карста, засоления и рассоления пород, фильтрационно-гидродинамические изменения и процессы фильтрационного выпора, механической суффозии, суффозионных просадок, лессового псевдокарста, кольматации и др.

Большое влияние на состояние и свойства пород и развитие антропогенных геологических процессов оказывают различные виды подземного строительства. В связи с этим строительством нарушается равновесие сил, действующих внутри массива пород, изменяется его напряженное состояние, возникают деформации растяжения, сжатия, сдвига, разрыва, кручения, течения пород. С указанными деформациями пород связано развитие таких инженерно-геологических процессов, как подземное выветривание, трещиноватость, отжим, вывалы, обрушение, пучение, стреляние пород, суффозия, сыпучее течение песка, прорывы пльвунов, вод, газов, сдвижение пород в массиве, образование на поверхности мульд проседания, трещин, провалов, воронок и др.

В некоторых городах СССР и зарубежных стран с давних пор существуют катакомбы, пещеры и целые подземные города (Одесса, Киев, Евпатория, Керчь, Париж, Рим, Неаполь, Берлин, Тунис и др.). Многие из них под влиянием подземного выветривания, внешних воздействий и износа деформируются, обрушиваются, вызывая сдвижение пород кровли, проседание поверхности, образование провалов, разрушение городской застройки (Париж, Неаполь, Одесса и др.).

Открытые выемки в городах (карьеры, дорожные выемки, рвы и пр.) служат ареной активного выветривания пород и развития оползней, обвалов, осыпей, оврагов, суффозии, заболачивания и других процессов. Многие из заброшенных карьеров постепенно превращаются в "язвы" города.

В городах формируется новый тип молодых геологических образований, связанных с деятельностью человека, — антропогенные отложения. Ф.В.Котлов [36] среди них выделяет пять комплексов: насыпные (строительные, горные, промышленные и хозяйственно-бытовые), намывные (строительные, горные), отложения искусственных водоемов, искусственно созданные и искусственно преобразованные в естественном залегании. Они имеют

точечное, очаговое, линейное, крупноплощадное и региональное распространение; мощности изменяются от 0 до 300 м и более. В крупных и древних городах они залегают сплошным покровом и только на окраинах — "островками". Максимальные мощности культурного слоя в некоторых городах, м: Одесса — 45, Киев — 44, Баку — 24, Москва — 22, Ташкент — 18, Волгоград — 17, Новгород — 14, Саратов — 12, Ленинград — 10, Лондон — 25, Сан-Франциско — 23, Париж — 20. Их генезис, состав и свойства настолько специфичны, что требуют особой методики изучения, оценки и прогноза.

Значительные проблемы возникают в связи с наличием в городе насыпных хозяйственно-бытовых грунтов, поскольку они являются источниками токсичных и горючих газов (двуокиси углерода, метана, сероводорода, азота, метилмеркаптана и др.). Фактически они представляют собой сложную биогеохимическую систему, газогенерационная способность которой определяется геохимическими особенностями толщи (составом этих грунтов, степенью их разложения). Во времени эти грунты проходят ряд геохимических состояний, характеризующихся нарастанием степени минерализованности и изменением интенсивности процессов газогенерации. Основная часть газового потенциала реализуется за 20–30 лет на первом этапе биодеградации органической части грунтов. На втором этапе длительностью 50–100 лет техногенное геологическое тело трансформируется в линзу минерализованного грунта, слабо отдающего насыщающий его биогаз. Полная стабилизация наступает через сотни лет [14, 44].

В геологической среде города в значительной мере трансформированы естественные физические поля и образованы искусственные. Наиболее заметны такие изменения в температурном и электромагнитном полях. С точки зрения механической устойчивости грунтов особенно существенно нарушение температурного поля в районах распространения многолетнемерзлых пород. Общеизвестны случаи разрушения зданий и сооружений, "всплытия" трубопроводов и пр. Оказывает влияние температурное поле и на интенсивность протекания карстовых процессов.

Температура геологической среды наряду с влажностью определяет скорость химической, электрохимической и биологической коррозии. Наиболее существенным фактором является наличие блуждающих токов искусственного происхождения. Степень коррозионной опасности находится в прямой зависимости от плотности блуждающих токов, которая в городах достаточно велика. При этом незначительные повреждения изоляции металлических частей подземных сооружений, а также коммуникаций и трубопроводов могут привести к большому "натеканию" токов на объект в катодных зонах и соответственно к стеканию их в пределах анодных зон с выносом частиц металла и его разрушением [20].

Достаточно пестрая картина действия техногенных факторов в городе, разнообразие видов и неодинаковая в пространственно-временном аспекте степень изменения геологической среды обуславливают затруднение в корректной постановке необходимых исследований и однозначной оценке

сложившейся ситуации. Основные сложности заключаются в дифференциации закономерностей динамики геологической среды при действии естественных и искусственных факторов, установлении первопричины отдельного процесса, отфильтровывании полезного сигнала от помех при производстве измерений и т.п.

Традиционные методы оценки состояния геологической среды

Функционирование любой (в том числе и геологической) системы состоит в последовательной закономерной смене ее состояний. Состояние геологической среды как открытой системы представляет собой совокупность показателей, характеризующих ее структуру и свойства, которые определяют ее поведение [4]. Исходя из значений этих показателей в различные моменты времени, можно оценить изменения, которые произошли с системой. Таким образом осуществляют ретроспективный анализ и прогноз потенциальных изменений геологической среды.

Оценка состояния и прогноз изменения геологической среды являются важным компонентом информационной основы для планирования и управления народным хозяйством. Поэтому оценка состояния геологической среды города должна быть динамичной и включать прогнозный компонент, зависящий как от исходного состояния среды, так и от предполагаемой системы воздействий.

Характер любой оценки определяется природой оцениваемого объекта и ценностной ориентацией исследователя. Последняя обуславливает вид оценки и выбор необходимых для этого показателей. Существуют различные виды оценок: частные, общие, дифференциальные, интегральные, но в них часто разными специалистами вкладывается неодинаковый смысл, даже при однотипных объектах изучения. Мы предлагаем строго разграничить области их применения.

Общие оценки получают на основании анализа какого-то одного фактора, наиболее представительного отражающего непосредственно или косвенно интересующую нас сторону (аспект) состояния геологической среды. Они составляются на основе частных оценок, получаемых по различным выбранным показателям. Применительно к геологической среде можно говорить о геодинамической, геоэкономической, геоэкологической и других типах общих оценок.

Объектом дифференциальных оценок являются либо пространственный элемент (условно вырезанный из литоферного объема в виде единичного блока, отдельного структурного массива, таксономической единицы инженерно-геологического районирования), либо отдельные компоненты геологической среды (грунта, подземные воды и др.). При этом оценки могут быть как частными, так и общими. Интегральная оценка представляет собой синтез дифференциальных оценок. Она не является их простой суммой, а представляет собой сложную совокупность, ибо даже при объединении оценок пространственных элементов нельзя их просто суммировать, поскольку существует качественная неравноценность вклада свойств эле-

ментов геологической среды в динамику ее изменения в различных структурно-геологических и зонально-климатических условиях даже при одинаковом техногенном воздействии. Наиболее важны (значимы) лабильные элементы среды, за счет которых происходят изменения.

Любая оценка опирается на качественную, полуколичественную и количественную информацию и может быть выражена разными способами. Наиболее широко используется система балльных оценок, однако ее основным недостатком — субъективизм в присуждении выбранным показателям соответствующих баллов. Для его устранения осуществляются ранжирование учитываемых факторов и определение их весов, привлечение экспертных оценок, что применялось в 50-х — 60-х годах в региональных и инженерно-геологических работах, выполнявшихся Гидропроектом, МГУ и другими организациями. В последние годы эти процедуры усовершенствованы в плане их дальнейшей формализации [39].

Процесс оценки в общих чертах включает: 1) выбор объектов оценки; 2) систематизацию оцениваемых объектов; 3) выбор показателей, характеризующих состояние объектов; 4) разработку оценочных шкал и коэффициентов значимости (веса); 5) оценку выбранных объектов; 6) группировку объектов по результатам оценки; 7) оценочное районирование и картографирование. Желательна проверка объективности районирования математическими методами.

Характеристика состояния геологической среды включает сведения: 1) о самой собственно среде как среде протекания геологических процессов; 2) о природных граничных и внутренних условиях, определяющих особенности процессов, их характер и динамику.

В первую группу входят показатели состояния отдельных элементов геологической среды, характеризующие: 1) структуру (пространственное размещение) горных пород различного генезиса и состава, находящихся в зоне влияния факторов техногенеза; 2) состав, свойства и состояние горных пород, детерминирующие возможность возникновения одного или парагенезиса процессов с учетом определенных типов воздействий на геологическую среду; 3) тип и состав подземных вод, характер обводненности пород в зоне техногенеза; 4) газовую составляющую пород и подземных вод; 5) тип биотических компонентов (включая микроорганизмы) и характер их распределения в толще пород.

Во вторую группу входят показатели, оценивающие: 1) гидрографическую сеть, распространенную в пределах города и его ближайших окрестностей; 2) современный рельеф городской территории (морфометрические характеристики), а также палеорельеф; 3) погребенные долины, сформировавшиеся в процессе геологического развития территории, а также засыпанные в зоне хозяйственной деятельности долины современных водотоков; 4) складчатость горных пород, а также дизъюнктивные нарушения, зоны размыва, дробления и др.; 5) зоны проявления экзогенных геологических процессов; 6) динамические и кинематические характе-

ристики физических полей (геофильтрационного, теплового, электрического, вибрационного и др.).

К количественным показателям состояния среды относятся геометрические, определяющие глубины залегания отдельных слоев пород или комплексов, мощность слоев, гипсометрическое положение их кровли и подошвы. В эту же группу входят показатели строения, состава, трещиноватости и физико-механических свойств горных пород. Качественные характеристики среды включают данные о генезисе, минеральном составе пород и др.

Характеристики граничных и внутренних условий протекания процессов являются преимущественно количественными: данные о режиме расходов и уровней поверхностных водотоков и водоемов, морфометрические показатели рельефа, динамические и кинематические характеристики физических полей (данные об уровнях и напорах подземных вод, интенсивности инфильтрационного питания грунтовых вод и т.п.). Качественные характеристики преимущественно включают данные о зонах развития и закономерностях проявления процессов.

Состояние геологической среды определяется набором прямых и косвенных показателей состояния: а) геологической среды в целом и отдельных ее элементов (прямые оценки); б) социальных, техногенных и экологических систем, связанных с геологической средой (косвенные оценки). Прямые оценки подразделяются на поэлементные или пофакторные оценки отдельных элементов геологической среды (рельефа, структуры, состава, состояния и свойств горных пород, подземной гидросферы, геофизических и геохимических полей) и оценки геологических и инженерно-геологических процессов (типа, области распространения по площади и глубине, интенсивности проявления и др.).

Оценки состояния техногенных систем (косвенные оценки состояния геологической среды) могут быть техническими и экономическими. Экономическими могут быть также интегральные прямые оценки состояния геологической среды, характеризующие стоимость инженерной подготовки и защиты территории и т.п.

При рассмотрении оцениваемой системы относительно окружающей среды выделяется такое ее качество, как устойчивость к внешним воздействиям, под которой понимается свойство структуры системы, обеспечивающее сохранение ее целостности. Исходя из этого устойчивость можно использовать в качестве показателя состояния системы, т.е. осуществлять общую оценку. В "Руководстве по охране окружающей среды в районной планировке" [65] уделяется особое внимание устойчивости среды к антропогенным воздействиям и указывается, что ее изучение является необходимым этапом предварительных работ по составлению схем охраны природы.

Наличие источников техногенного воздействия, сравнимых по интенсивности и масштабам влияния с природными факторами, существенно сказывается на состоянии геологической среды. Последняя рассматривается в этом случае как целостная система, которой противопоставлена деятельность

человека. Анализ в таком аспекте позволяет проводить частные оценки в зависимости от устойчивости к разного рода воздействиям от техногенных источников. При этом можно идти по пути дальнейшей детализации и рассматривать эти воздействия по отношению к отдельным элементам (компонентам) данной системы, т.е. осуществлять дифференциальную оценку. Для ее осуществления необходимо наличие двух карт: инженерно-геологической и техногенного воздействия. При их совмещении выясняется, на какие компоненты геологической среды источник оказывает непосредственное или косвенное влияние, каков радиус этого влияния и какие изменения происходят или могут возникнуть в геологической среде.

Один техногенный источник, как правило, оказывает комплексное воздействие: может быть одновременно источником тепла, причиной повышения уровня грунтовых вод, загрязнения грунтовых толщ и подземных вод и др. В связи с этим на карте отражаются комплексная характеристика существующих и перспективных источников, а также ареалы распространения воздействий, имеющих разную природу. Показатели их интенсивности ранжируются с учетом инверсии их знака исходя из наибольших и наименьших значений.

При некотором воздействии геологическая среда в соответствии с ее реакцией может оказаться нейтральной, т.е. не изменяющейся при этом и передающей сигнал от источника к объекту без качественного его изменения; инерционной, т.е. поглощающей и аккумулирующей сигнал и практически не передающей его на объект; реагентной, т.е. восприимчивой к воздействию, заметным образом меняющей свои первоначальные свойства и вместе с тем оказывающей существенное вторичное воздействие на объект. В общем случае, когда геологическая среда сочетает в некоторой пропорции все три качества, суммарный эффект воздействия и отклик среды на него, а также вторичное воздействие определяются количественным соотношением мер указанных выше качеств, которые могут быть названы коэффициентами реакции среды.

В практике часто наблюдается, как на один и тот же элемент (компонент) геологической среды накладывается воздействие от двух и более источников. В этом случае следует различать аддитивность, ослабление и усиление их влияния. Такое явление чаще всего встречается в городах, однако и в пределах областей на отдельных участках возможно наличие нескольких техногенных источников, в особенности на территориях агропромышленных комплексов.

Помимо отмеченного выше, необходимо учитывать внутренние условия рассматриваемой геологической системы. Для этого выбираются соответствующие показатели, характеризующие устойчивость элементов (компонентов) к воздействию со стороны техносферы: минеральный и дисперсный состав пород, их прочность на сжатие, размокаемость, фильтрационные свойства, трещиноватость и пр.

Значимость (вес) каждого показателя, а также вида воздействия определяется целями и масштабами исследования. Так, если для городских условий физические воздействия более или менее значимы, то для терри-

торий областей они не существенны (за исключением узких протяженных зон вдоль линейных источников), зато приобретают больший вес химические и биологические воздействия (в смысле загрязнения почв, грунтов и подземных вод).

Такой подход к оценке состояния геологической среды позволяет как характеризовать современную обстановку, так и прогнозировать возможные изменения в результате планируемых мероприятий и последующего функционирования техносферы. На основании анализа и синтеза дифференциальных частных оценок устойчивости получают интегральную общую оценку состояния геологической среды, что отображается на соответствующей карте. Таким образом, каждый пространственный элемент геологической среды и вся она в целом комплексно описываются с точки зрения их устойчивости к различным видам техногенных воздействий.

Другим аспектом состояния геологической среды является ее геодинамическая устойчивость. Для такого типа общей оценки применительно к платформенным условиям используется один существенный фактор, отражающий геологическую динамику территории, а именно развитие природных и антропогенных геологических процессов. В связи с этим такие параметры, как активность и распространенность процессов, могут служить одним из параметров динамического состояния геологической среды. Данный вид оценки является интегральным потому, что условия протекания процессов определяются как особенностями того субстрата, в котором они протекают, так и внешними воздействиями. Отдельный процесс не может быть вырван из геологической среды, представляемой в виде системы, и отнесен к одному ее элементу или соотнесен с одним каким-то фактором, поскольку именно совокупность самых разнообразных факторов обуславливает возникновение и протекание геологических процессов. Кроме того, возможно наличие парагенезиса процессов или цепочки процессов, связанных между собой причинно-следственными связями.

При описании и прогнозировании процессов необходимо различать их пространственный и временной аспекты. Пространственный аспект включает размеры, форму и внутренние характеристики области развития процесса. Временной аспект включает характеристики протекания процессов во времени (длительность реального процесса, стадии, фазы, паузы и др.). Следует отмечать существование парагенезиса процессов, создающих сложную картину взаимодействия различных типов процессов. Это явление наблюдается главным образом в городах, где накладывается множество разнообразнейших факторов друг на друга.

В качестве показателей, характеризующих развитие процесса, следует назвать такие, как интенсивность проявления процесса и активность его проявления, предложенные Е.П.Емельяновой [17]. Последний параметр характеризует степень устойчивости территории к развитию определенного вида процессов. Современные методы оценки геодинамической обстановки применительно к городам рассмотрены в работе [74].

К этому виду оценки близка и инженерно-геоморфологическая оценка. Ее осуществление применительно к геологической среде города особенно важно, поскольку с ее помощью можно выявить взаимосвязи и взаимозависимости элементов техногенного и природного рельефа; техногенных и материнских пород; техногенных и природных поверхностных и грунтовых вод и т.п. Геоморфологические исследования должны идти по двум направлениям: 1) по пути изучения парагенетических рядов (комплексов), что позволяет произвести геоморфологическую типизацию геологической среды; 2) по пути изучения сопряженных элементов рельефа морфолитосистемы, что позволяет выявить взаимосвязи сопряженных элементов и форм рельефа. Такой анализ дает возможность оценить степень изменения геологической среды под влиянием техногенного воздействия [45].

Поскольку проявление геологических процессов часто сопряжено с перемещением значительных масс горных пород и затратами на это большого количества энергии, анализ ее баланса [19, 63] может быть предложен в качестве развития двух последних способов. Приходную часть (входящие потоки) составляет приращение энергии рельефа за счет современных тектонических движений, вулканизма, аккумуляции, создания насыпей, отвалов, терриконов и т.п. Расходную часть (исходящие потоки) определяют процессы денудации и создание отрицательных форм в рельефе, а также подземное строительство. В обе эти части входят геохимические процессы, вызывая перенос вещества и разнообразное изменение энергии. Аналогично проявляется инфильтрационное техногенное воздействие, в результате чего в литосферном пространстве возникает перемещение, удаление и нагнетание жидкой фазы (воды, нефти и др.).

Как и в предыдущих случаях, на основании результатов режимных наблюдений осуществляются прогнозные исследования. Недостатком последних является невозможность учета потенциальных изменений вида и интенсивности планируемых техногенных воздействий, так как изучение баланса энергии может проводиться только применительно к существующим условиям хозяйствования.

Рассматривая обмен энергией и веществом между техносферой и геологической средой, можно также получить представление о состоянии последней. Такой подход намечает связь данной оценки с производимой относительно разных видов техногенных воздействий, описанной выше.

Применение всех описанных способов позволяет непосредственно характеризовать состояния системы, о котором можно судить исходя и из косвенных показателей. Примером одного из них является устойчивость экосистем. Известно, что любую экосистему или ландшафт характеризует совместное функционирование биоценозов и абиотических компонентов, возможное вследствие особого механизма регуляции. Благодаря ему в поведении биоты сказываются изменения, происходящие в геологической среде; в то же время на последнюю через экосистему оказываются различные воздействия. Отклонение экосистемы от траектории ее естественного развития может говорить о возникновении новых геологических процессов

или о появлении загрязнения. Так, М.А.Глазовской [II] была найдена корреляционная связь характеристик опада листьев с загрязнением и рядом физических показателей геологической среды. Известны работы ряда авторов, исследовавших изменение биоценозов в зависимости от интенсивности геологических процессов, трансформирующихся в ходе техногенеза [7, 8].

В связи с этим представляет интерес классификация ландшафтов, разработанная А.Мори [84]. Исходя из состояния биокомпоненты он выделил пять типов ландшафтов: 1) экологически сбалансированный; 2) несбалансированный (где наблюдаются только антропоэкосистемы); 3) с деградированными; 4) с искусственными; 5) со сложными экосистемами. Их распространение в условиях городов и области различно. В городах наблюдаются главным образом 2-й и 4-й типы. Основную часть территории области занимают ландшафты, экологически сбалансированные и с деградированными экосистемами; исключения составляют местности с развитой горнодобывающей промышленностью, где отмечаются преимущественно те же типы, что и в городах.

Изучение изменения ландшафтов наиболее эффективно с применением дистанционных методов. Сравнение результатов, полученных с их помощью в разные моменты времени, позволяет судить о степени устойчивости рассматриваемой системы. Использование этих методов при геодинамической оценке также дает положительные результаты.

В практике широко распространена дифференциальная оценка инженерно-геологических условий местности. Здесь имеется в виду не оценочное районирование, которое может быть сравнительным или геолого-экономическим, а обычная инженерно-геологическая характеристика местности. Такая оценка является потому дифференциальной, что производится применительно к пространственным элементам геологической среды (таксонам, выделенным в результате районирования; отдельным объемным ячейкам). При этом используется общий принцип подразделения инженерно-геологических условий на компоненты: 1) структурно-тектонический; 2) геоморфологический; 3) геодинамический; 4) гидрогеологический; 5) грунтовый. Оценочная значимость каждого компонента зависит от региональных геологических и зонально-климатических условий. Основными методическими приемами являются составление комплекта аналитических карт, отражающих покомпонентную оценку, затем их анализ и создание синтетической карты. Такие карты включают косвенную информацию о внешних условиях формирования геологических систем и отражают преимущественно внутренний аспект состояния геологической среды. Для более полной оценки необходим учет внешнего воздействия.

Оценка инженерно-геологических условий широко используется при проведении инженерных изысканий для гражданского и промышленного строительства, на разных стадиях которых изменяется ее характер. К примеру из СН 225-79 [27] следует, что на стадии выбора площадки проектировщик должен быть обеспечен инженерно-геологической информацией для сравне-

ния вариантов размещения сооружений. На этой стадии, помимо сбора имеющихся материалов, осуществляют рекогносцировку, а иногда и инженерно-геологическую съемку. В итоге составляют заключение с краткой характеристикой вариантов (первый вид оценки). Затем на основании этих материалов устанавливают категорию сложности условий (второй вид), в зависимости от которых определяют объем последующих работ. По результатам съемки, выполненной на основной стадии изысканий, представляют окончательный отчет с детальной сопоставительной характеристикой участков строительства (третий вид оценки).

По СН 211-62 [26] изыскания также предваряются рекогносцировочным обследованием территорий. По его данным и материалам изысканий прошлых лет выявляют сложность инженерно-геологических условий (первый вид оценки). На этом основании также определяют объем дальнейших исследований, включающих в сложных случаях и стационарные наблюдения за развитием ряда процессов и явлений. Аналогично итогом изысканий является отчет, где по результатам инженерно-геологического районирования дифференцируются возможности и условия использования местности (второй вид оценки).

В обоих рассмотренных случаях степень сложности условий влияет на детальность съемки, объем горнопроходческих и буровых, опытных полевых и лабораторных работ, стационарных режимных наблюдений. Поскольку степень сложности непосредственно затрагивает интересы изыскателей, ей уделено достаточно внимания в инструкциях. Остальные же виды геологических оценок местности, необходимые для проектировщиков, не рассмотрены, за исключением небольшого пояснения в п. 2.40 СН 211-62, регламентирующего выделение на картах "участков вполне благоприятных, условно благоприятных и неблагоприятных для строительства".

Изложенная в инструкциях методика оценки инженерно-геологических условий далека от совершенства. До сих пор не рекомендованы строгие количественные и качественные критерии, с помощью которых можно было бы наиболее объективно подразделить территории и тем самым обоснованно подсчитать объемы работ, разграничив площади по их свойствам и строению. Такое положение дает большой простор для субъективного подхода к решению данного вопроса, способствуя подчас завышению, а то и занижению объемов изысканий.

Оценка сложности, рекомендуемая СН 211-62, является интегральной и определяется суммой баллов по каждому компоненту инженерно-геологических условий (геологическому и геоморфологическому строению и др.). Чем выше сумма баллов, тем выше категория сложности. Недостаток этого способа, в частности, в том, что вклад различных компонентов в общий итог установить нельзя и, следуя такому принципу, можно одинаково характеризовать территории, находящиеся в совершенно различных геолого-структурных обстановках.

В этом отношении более гибкий способ рекомендован в СН 225-79 [27], где не предписывается суммирование баллов, однако и не указывается, как с ними поступать в каком виде предлагать результаты оценки. Отмечается, что категорию нужно определять по совокупности факторов. Если отдельный фактор относится к более высокой категории и является важным при принятии проектных решений, то категория сложности соответствует этому фактору (см. табл. 3 СН 225-79).

Таким образом, в настоящее время отсутствует принципиальная, строго обоснованная нормативная методика оценки сложности инженерно-геологических условий. В литературе существуют отдельные примеры такой оценки. В 1974 г. Н.И.Дубровин [16] предложил полуколичественный способ, который в дальнейшем был взят за основу для оценки затрат на подготовку территорий с разной категорией сложности [30]. Г.К.Бондарик и В.В.Пендин [5], используя системный анализ и концепцию геологического поля, с помощью ЭВМ рассчитали степень сложности строительства трубопроводов на севере Западной Сибири. Однако этот способ довольно сложен. Для его осуществления нужна соответствующая база вычислительной техники, что под силу далеко не каждой специализированной организации, не говоря уже о мелких изыскательских подразделениях проектных институтов.

В заключение необходимо сформулировать основные требования к любым информационным оценкам, получаемым рассмотренными методами.

1. Репрезентативность: оценки должны отражать существенные черты строения и свойств ПТС и ПС (с учетом их масштаба).

2. Конструктивность ("стыкуемость"): оценки должны быть пригодными для комплексных геоэкологических расчетов.

3. Экономичность: стоимость получения оценок должна соответствующим образом сочетаться со стоимостью тех мероприятий, проведение которых является целью данной оценки геологической среды.

4. Рациональность: минимальный (на современном уровне производства) объем затрат труда, времени и средств на получение единицы геологической информации.

5. Масштабность: методика должна разрабатываться применительно к конкретным целям и задачам народнохозяйственной деятельности, а следовательно, быть дифференцированной по отношению к масштабам освоения природных ресурсов. Именно масштабы хозяйственно-экономической деятельности диктуют количество и состав информации, необходимой для решения конкретных задач, и те минимальные затраты труда, времени и средств, о которых говорилось в предыдущем положении.

6. Специализация для каждого уровня исследований: направленность методической дифференциации от каждого предыдущего уровня к последующему идет по линии конкретизации информации, увеличения ее плотности в пространстве и во времени, с одной стороны, и по линии сужения круга показателей - индикаторов неблагоприятной ситуации - с другой. С точки зрения качественного состава информативных показателей дифференциация идет по линии перехода от универсальных, общих (максимально

информативных по отношению ко всему комплексу изучаемых процессов) к специфичным, детальным показателям.

7. Необходимость и достаточность: количество информации, необходимой для общей или конкретной характеристики того или иного объема геологической среды, определяется ее пространственной и временной изменчивостью. При этом предельное количество и качество информации должно соответствовать принципу необходимости и достаточности.

8. Усложнение по мере перехода к высоким иерархическим уровням: этапность работ, различие в количественном и качественном составе информационных уровней предполагают разную методологию и техническую оснащенность работ по выявлению приоритетных показателей.

Типология городов и их влияние на изменение геологической среды

В далекой древности город, противопоставляемый живой природе, обеспечивался объектами и системами, направленными на создание городского комфорта и достижение определенного гигиенического уровня, начиная с мощения улиц и кончая контролем за атмосферой в современном городе. В настоящее время площадь Земли, занятая под жилые застройки, дороги и другие инженерные сооружения, составляет 4 % суши, а к 2000 г. увеличится до 15 %. Для того чтобы до конца столетия расселить на планете еще 3 млрд людей, потребуются дополнительные поселения – 3000 новых городов по 1 млн жителей. Сегодня в мире насчитывается порядка 300 городов с таким уровнем населения [54]. Наряду с возрастанием численности городского населения увеличиваются и территории городов. В СССР наибольшие площади занимают Москва (более 800 км²) и Ленинград (почти 600 км²).

Городские поселения подразделяются на полифункциональные и монофункциональные города. В ряду полифункциональных городов наиболее полным набором функций и мощным развитием их характеризуются Москва, Ленинград, столицы союзных республик, ряд областных и краевых центров. Монофункциональные – преимущественно малые города и поселки городского типа: курортные, города науки, специализированные промышленные (при отдельных крупных предприятиях), районные центры.

Функции городов подразделяют: на экономические (отрасли сферы индустриального производства и обращения: промышленность, транспорт, торговля, снабжение и сбыт) и внеэкономические (управленческие, политические, культурные, учебные, научные, рекреационно-оздоровительные), а также градообразующие (обслуживание внегородских связей, экономический профиль города) и градообслуживающие (удовлетворение потребностей самого города). Функциональная структура города активно влияет на многие его черты, в первую очередь на численность и динамику населения, его состав. От функциональной структуры, численности населения, площади и возраста города зависит качественный и количественный состав факторов, влияющих на окружающую среду. Следовательно, типология городов по численности населения, площади, возрасту и функциям

отражает в значительной мере характер их воздействия на окружающую среду. Универсальная типология городов с учетом их воздействия на окружающую среду пока не разработана. При создании таких типологий следует учесть три группы проблем: 1) загрязнения окружающей природной среды (выбросами вредных веществ, отходами, излучениями); 2) рационального использования земельных, водных и минерально-сырьевых ресурсов; 3) медико-экологического дискомфорта городского населения со стороны природной или техногенно-измененной окружающей среды.

В качестве типологической основы наиболее приемлема комплексная типология городов, выполненная по следующим параметрам: функциональный тип города, уровень экономического развития и некоторые характерные демографические показатели. Уровень экономического развития города может быть определен совокупным показателем, представляющим сумму индексов валовой продукции промышленности, промышленно-производственных основных фондов и промышленно-производственного персонала на душу населения. Между этим совокупным показателем и показателями национального дохода существует тесная корреляция (коэффициент корреляции 0,8).

При разработке функциональной типологии городов может быть принята в качестве основы классификация больших городов, в рамках которой выделены две группы — с повышенными значениями производственных и непроизводственных функций. В результате по комплексу показателей могут быть выделены двадцать типов городов: от первого — многофункциональных городов с высоким уровнем экономического развития (Москва, Ленинград) до двадцатого — городов с высокоразвитой непроизводственной сферой, развитым строительством и низким уровнем экономического развития.

Помимо комплексной типологии, существуют частные классификации городских поселений по: 1) величине (численности населения); 2) функциям; 3) степени участия в территориальном разделении труда; 4) происхождению (генетическая классификация); 5) экономико-географическому положению. Так, в системе градостроительных организаций Госстроя СССР принята следующая классификация городов по величине: малые города (до 50 тыс жителей), средние (50–100 тыс), большие (100–250 тыс), крупные (250–500 тыс), сверхкрупные (более 500 тыс).

По преобладанию тех или иных функций обычно выделяют пять функциональных типов городов: 1) сочетающих административно-политические, культурные и экономические функции градообразующего значения; 2) с резко выраженным преобладанием экономических функций (промышленность, транспорт) — в рамках этого типа выделяются три подтипа городов: а) промышленные с многоотраслевой структурой и специализированными индустриальными центрами — металлургические, машиностроительные, текстильные, химические, лесоперерабатывающие и т.д.; б) транспортные — при крупных речных и морских портах, железнодорожных узлах и узлах различных видов транспорта; в) промышленно-транспортные; 3) с

преобладанием административных, культурных и обслуживающих функций; 4) научные; 5) курортные.

Типология городов по месту в территориальном разделении труда не содержит дополнительной информации по проблемам воздействия городов на окружающую среду. Весьма сложна и почти не разработана классификация городов по экономико-географическому положению, несущая значительную экологическую информацию, хотя ряд характерных типов в пределах этой классификации может быть выделен отчетливо: по взаиморасположению города и месторождения ископаемого сырья или топлива, по сочетанию с транспортной сетью и т.д.

Генетическая классификация городов основана на их разделении в основном по времени и причинам возникновения. Эта классификация для анализа воздействия на окружающую среду представляется весьма важной, так как позволяет лучше проследить (в сочетании с исследованием функционального типа города) за этапами инженерно-хозяйственного освоения соответствующей территории.

По генетическому признаку выделяются шесть основных категорий городов, объединенных в две группы: I) старые города — поселения, получившие статус городов до Октябрьской революции: а) не усложнившие до сих пор свой дореволюционный производственный профиль, б) усложнившие в советское время производственный профиль, в) коренным образом изменившие в советское время дореволюционный производственный профиль; 2) новые города — поселения, получившие статус городов после Октябрьской революции, возникшие из прежних экономических центров, не имевших "городского" оформления, на месте: а) фабричных сел и сел-пригородов, б) торгово-промышленных и кустарных сел, в) на "пустом месте" или на месте сельскохозяйственных поселений.

При проведении типологии городов по степени хозяйственной освоенности территории можно исходить из трех основных показателей, определяющих удельный вес каждого промышленного пункта и отнесенных к единице площади города: стоимости валовой продукции, стоимости основных производственных фондов, численности промышленно-производственного персонала. При этом следует остановиться на представлении о том, что освоенность территории зависит от уровней развития производительных сил и производительности, достигнутых на данной территории [29].

Характер инженерно-хозяйственного освоения территории города определяется прежде всего взаиморасположением всех материальных элементов города, планировкой и застройкой, соотношением жилых и производственных зон, деловых районов и т.д. Эти сложные сочетания определяют функциональную структуру города, типом и степенью ее развития в многолетнем разрезе. Сочетание материальных элементов представляет собой сложную систему, в качестве подсистем в которой выступают: численность населения; производственные объекты, связанные коммуникациями; совокупность учреждений, обслуживающих население, т.е. социальная инфраструктура.

Инфраструктура – сочетание действующих сооружений, зданий, сетей, систем, прямо не относящихся к производству материальных благ, но необходимых для обеспечения как самого процесса производства (производственная инфраструктура), так и повседневной жизни населения (социальная инфраструктура). Общее значение для социальной и производственной инфраструктуры имеют все виды коммуникаций – дороги, линии электропередачи и связи, нефте- и газопроводы, магистральные водоводы и т.д.

Инфраструктура и производственные предприятия, рекреации формируют шесть основных зон городских территорий: селитебную, промышленную, коммунально-складскую, внешнего транспорта, рекреационную, а также неудобных и нарушенных земель. Специфика этих зон – площадь, конфигурация, взаиморасположенность – зависит от функционального типа города, его генезиса, а также от природных условий: климата, рельефа, типа геологической среды. Так, в городах черной металлургии и основной химии промышленные зоны обособлены особенно резко, в крупных транспортных узлах отделены портовые и привокзальные районы, в крупных городах – деловые и административные центры. Часто планировка определяется природными условиями: для городов Крайнего Севера характерна "закрытая" планировка, противостоящая ураганным ветрам и заносам; на юге, наоборот, полезно хорошее "продувание" кварталов и т.д.

Таким образом, при типизации городов должны быть учтены следующие факторы: 1) генетический и исторический, 2) численность населения, площадь и конфигурация, характер организации городской территории, 3) функциональный (превалирующие производства или группы производств), 4) природные условия (зонально-климатические и инженерно-геологические) территории.

Систематизация и объединение комплекса факторов в матрицу при ее дальнейшей обработке позволит определять типы городов с точки зрения существующего или потенциально-возможного воздействия на окружающую среду.

Урбанизация возрастает невиданными темпами и ставит все новые проблемы взаимодействия человека и окружающей среды. В связи с интенсивной деятельностью человека в городах и ее значимостью в хозяйственной и социально-политической жизни страны особое значение приобретает необходимость планомерного и направленного изучения инженерно-хозяйственного воздействия на геологическую среду территории города, являющуюся непосредственным носителем техногенных нагрузок. По определению Е.М.Сергеева, город – это сравнительно небольшая территория, где воздействие человека на поверхностную часть земной коры наиболее интенсивно и разнообразно [68].

Комплексное воздействие на окружающую среду протекает в городах неодинаково. С одной стороны, это связано с зонально-климатическими условиями и геологической средой городской территории. С другой стороны, в районах с разными типами урбанизации, с различными формами

территориальной организации хозяйства и расселения величина "нагрузки" на природу со стороны производства и населения и глубина изменения природной среды (и стихийного и целенаправленного) оказываются весьма различными. Предельных величин "нагрузки" на природу достигают в крупнейших городах и городских агломерациях, что обусловлено сложной функциональной структурой современного крупного города, которая определяется как глубину вторжения в природные процессы, во взаимосвязи компонентов природы, так и размах ответной реакции природы.

Развивая городские поселения, человек стремится достичь наивысшей гармонии города и его природного окружения, т.е. максимально вписать город в ландшафт, учитывая все особенности рельефа, гидрографии, растительности. Но при этом необходимо изменить природу, приспособив ее, в свою очередь, к городу, чтобы получить от нее наибольшую отдачу для городских нужд.

Многообразие воздействия процесса урбанизации на природную среду приводит к сложным противоречиям. С одной стороны, воздействие на природу в процессе урбанизации носит целенаправленный характер. Укрепление берегов рек и морей, снижение уровня грунтовых вод, противоползневые, противоселевые и другие мероприятия проводятся с целью ликвидации или снижения интенсивности проявления природных геологических процессов и явлений, т.е. предусматривают улучшение природных условий городских территорий. С другой стороны, несмотря на кажущееся подавление в городе живой природы, закованной в камень, асфальт и бетон, происходит проявление техногенных геологических процессов и явлений (подтопление территории, активизация склоновых процессов и др.), повышается их интенсивность по сравнению с окружающей город территорией. Таким образом, направленность изменений геологической среды городской территории может носить благоприятный и неблагоприятный характер. Условно принято считать, что благоприятные изменения геологической среды выражаются в ликвидации или снижении интенсивности природных геологических процессов и явлений, которые отрицательно сказываются на состоянии городских и промышленных объектов, общей экологической обстановке города и его дальнейшем освоении. Неблагоприятные изменения геологической среды выражаются в проявлении техногенных геологических процессов, требующих проведения специальных инженерных мероприятий на отдельных участках.

Характер изменения геологической среды под влиянием градостроительства одновременно зависит от типа города, определенного, как уже было отмечено, по следующим признакам: генетическому и историческому; численности населения, площади, конфигурации и характеру организации городской территории; функциональному; природным условиям.

Функциональная принадлежность города во многом определяет характер его воздействия на геологическую среду. Возраст города фиксирует время его влияния на геологическую среду и в известной степени характеризует скорость развития техногенных геологических процессов. От чис-

ла жителей города и преобладающего типа застройки зависит его площадь, т.е. размеры той территории, где под влиянием градостроительства изменяется геологическая среда. С увеличением площади города возрастает разнообразие техногенных процессов.

Изменения геологической среды зависят, с одной стороны, от ее строения и состояния, с другой — от типа города. Например, основной особенностью строения и состояния геологической среды на территории Воркуты является большая мощность рыхлых пород, находящихся в многолетнемерзлом состоянии. В этих условиях получили наиболее широкое развитие техногенные криогенные процессы и явления, а также процессы, связанные с изменением уровня грунтовых и подземных вод, в частности заболачивание и оседание земной поверхности.

По размеру, возрасту и функциональной принадлежности с Воркутой полностью сопоставим Кировск. На его территории в результате градостроительства главным образом активизируется процесс выветривания магматических и метаморфических горных пород, что в известной степени при определенных условиях способствует развитию склоновых процессов (обвалов, осыпей). Наличие скальных пород, залегающих близко к поверхности, обеспечивает устойчивость геологической среды, оседание земной поверхности здесь не наблюдается.

Следует отметить, что из элементов геологической среды наибольшей динамичностью обладают подземные воды. Взаимодействуя с горными породами, рельефом, геофизическими и геохимическими полями, с техносферой и другими блоками природы, подземные воды быстро реагируют на техногенные воздействия. Различные виды хозяйственной деятельности на территории городов оказывают специфическое воздействие на подземные воды и, как следствие, вызывают различные изменения геологической среды. На подземные воды наибольшее влияние оказывают водоотбор для хозяйственно-питьевых, технических, курортно-лечебных и промышленных целей, орошение и осушение в сельскохозяйственной зоне агломераций, застройка территорий, строительное водопонижение, сброс отработанных вод, закачка жидких и твердых отходов и др. К числу регионально проявляющихся техногенных изменений подземных вод следует отнести понижение или повышение их уровня, уменьшение запасов, изменение распределения и характера подземного стока, условий взаимодействия с поверхностными водами, состава и температуры.

Эти изменения приводят к нарушению состояния поверхностных биоценозов, осушению поверхностных вод, подтоплению и заболачиванию территорий, интенсификации техногенных геологических процессов — оползневых, эоловых, суффозионно-карстовых, коррозионных, оседания грунтов и др. Особенно значительные изменения геологической среды прослеживаются в таких городах-гигантах, как Москва, Ленинград, где отмечают понижение уровня подземных вод, образование значительных по площади депрессионных воронок в результате больших водозаборов. Изменения характера взаимосвязи поверхностного и подземного стока в результате

длительной эксплуатации каменноугольных подземных вод в Москве вызвали интенсивное развитие техногенных суффозионно-карстовых процессов. В результате их активизации на поверхности возникают явления проседания и провалы, приводящие к деформации и разрушению сооружений. Так, ряд аварий и деформаций, связанных с существованием неучтенных и малоизученных карстовых полостей, наблюдался в Москве.

Геологическая ситуация, признанная в карстово-суффозионном отношении опасной, достаточно широко распространена в центральных, южных и западных районах Московской области. Залегающие здесь сравнительно неглубоко от поверхности толщи карбонатных каменноугольных пород значительно, но неравномерно закарстованы. В окрестностях Серпухова известно 28 мест карстопоявлений, причем 4 воронки образовались на памяти современных жителей. Наличие воронок отмечается близ городов Шелково, Звенигород, а также в Подольском, Чеховском и Бронницком районах.

В Ленинграде за 40 лет послевоенной эксплуатации гдовского горизонта уровень его понизился в центре города на 70-75 м, протяженность пьезометрической депрессии достигла 120 км по длинной субширотной оси и 70 км - по субмеридиональной. Однако здесь не наблюдается развитие суффозионно-карстовых процессов, так как четвертичные отложения подстилаются породами терригенной морской формации.

Таким образом, при одном и том же воздействии человека на геологическую среду городских территорий развитие техногенных геологических процессов контролируется строением и состоянием геологической среды.

Наиболее наглядно влияние численности городского населения и площади города на геологическую среду можно проследить, сравнивая данные по Москве и Пскову, расположенным в сопоставимых условиях. При этом для Москвы, занимающей площадь более 800 км², с многомиллионным населением и большим количеством крупных промышленных объектов, развитым городским хозяйством характерно многообразие техногенных геологических процессов и явлений. Часть из них ухудшает градостроительные условия (снижение интенсивности оползневых процессов, понижение уровня грунтовых вод), часть приводит к ухудшению (заболачивание, подтопление, эрозийные и карстово-суффозионные процессы). Совершенно другой масштаб изменений геологической среды отмечается в Пскове, площадь и численность населения которого в несколько десятков раз меньше Москвы. Геологическая среда Пскова характеризуется наличием карбонатной формации, залегающей в пределах города на глубине до 20 м. Несмотря на это, на этой территории отсутствуют техногенные суффозионно-карстовые процессы, что объясняется незначительным масштабом воздействия человека на геологическую среду. В Пскове водозабор осуществляется главным образом из р. Великой, вследствие чего подземные воды карбонатной формации используются незначительно и не возникает условий для активизации суффозионно-карстовых процессов.

В Москве породы карбонатной формации залегают на значительно большей глубине, чем в Пскове, местами они отделены от четвертичных отложений прослоями юрских глин, но, несмотря на это, благодаря большому водозабору подземных вод, как уже было сказано, в Москве развиты техногенные суффозионно-карстовые процессы.

Территория Москвы по разнообразию возникающих техногенных геологических процессов сопоставима с территорией Воркуты, что объясняется не столько особенностями геологической среды территории Москвы, сколько масштабом самого города. Однако интенсивность техногенных геологических процессов, проявляющихся на территории Москвы, во много раз меньше, чем в Воркуте, что обусловлено особенностями геологической среды территории Воркуты в целом, отличающейся максимальной чувствительностью к инженерно-хозяйственному воздействию.

В городах, где широко развиты отложения болотного или аллювиального геолого-генетических комплексов, характеризующихся повышенной влажностью, сжимаемостью и неглубоким залеганием грунтовых вод, техногенные геологические процессы распространены значительно интенсивнее (Архангельск, Ленинград), чем в городах, где с поверхности залегают отложения ледникового геолого-генетического комплекса (Псков).

Для большинства городов характерен подъем уровня грунтовых вод, который приводит к образованию участков подтопления и заболачивания. Это связано с различными факторами: созданием водохранилищ (г. Кировск), нарушением природного равновесия между атмосферой и литосферой в результате застройки и наличия больших площадей с асфальтированными покрытиями (Москва, Ленинград и др.), утечками воды из подземных коммуникаций (характерное явление практически для всех городов), нарушением нормальной работы дренажных систем (Псков). Подтопление провоцируется также неблагоприятным бессточным рельефом, наличием впадин, плохой водоотдачей грунтов, отсутствием естественных дренажей (что во многих случаях вызывается полным уничтожением в городах оврагов).

За последние 15-20 лет оказались подтопленными многие города Сибири, Украины, Средней Азии, Кавказа. В Ереване за 3 года уровень грунтовых вод поднялся на 4-5 м. В Искитиме (Западная Сибирь) подтоплено 50 % территории - практически все подвалы капитальных зданий, погреба индивидуальных домов, помещения котельных и трассы инженерных коммуникаций. Ежегодный подъем уровня на 0,2-0,3 м, наблюдающийся в течение 7-8 последних лет, приводит к необходимости систематической перекладки коммуникаций. В Татарске и Барабинске подтоплено 80 - 90 % территории. Подтопление сопровождается морозным пучением, повсеместно наблюдается интенсивная коррозия стальных коммуникаций. Результатом этого являются многочисленные аварии, выходы из строя наземных и подземных инженерных коммуникаций. В Омске уровень грунтовых вод за последние 10 лет повысился на 5-8 м.

Особенно пагубно развитие подтопления в массивах, сложенных лесовыми грунтами, так как это одна из главных причин возникновения просадочных деформаций. Это явление характерно для берегов водохранилищ, каналов, особенно в Средней Азии, на Украине, Северном Кавказе. В результате подтопления в зонах гидротехнических и мелиоративных сооружений, расположенных в этих районах, возникают многочисленные аварии.

Расширение площади орошаемых земель формирует региональный фон для подтопления городских территорий. Так, только в Узбекистане подтоплены более 100 городов и райцентров, в 76 из них эксплуатируется более 1000 скважин вертикального дренажа, стоимость которых достигает 36 млн руб. в год и т.п.

Процесс подтопления развит на значительной части территории Москвы, где он почти не наблюдался ранее. Во многих районах Москвы подтоплены фундаменты, подвалы зданий, подземные коммуникации, разрушены конструкции, в ряде случаев возникли антисанитарные условия. Во многом подтопление обусловлено потерями из водонесущих коммуникаций (водопровода и канализации). Учитывая, что в водопровод Москвы ежедневно подается около $6 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ воды, даже минимальный уровень потерь, определяемый специалистами в 10 % от водоподачи, дает не менее $6 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{сут}$ дополнительного питания грунтовых вод. Эта величина практически равна питанию грунтовых вод за счет выпадения осадков в естественных условиях, если отнести ее к площади города, составляющей более 800 км^2 .

Существенное повышение уровня грунтовых вод широко распространено в городах Московской области. По данным обследования, проведенного в Серпухове, Воскресенске и Егорьевске, подтопление подвалов капитальных зданий и свободной территории, выражающееся в заболачивании местности, составляет в Серпухове 20 % от общей площади города, в Воскресенске и Егорьевске — 30–40 %.

Наличие легкоразмываемых четвертичных отложений на территории городов и определенных форм рельефа способствует активизации линейной эрозии (Москва, Архангельск). На территории многих городов отмечаются участки, где фиксируется понижение уровня грунтовых вод, вызванное в большинстве случаев устройством дренажных систем для осушения территории. В ряде случаев понижение уровня грунтовых вод может быть связано с понижением уровня подземных вод, которое отмечается при больших водозаборах, откачках из шахт, при строительстве метрополитена (Москва, Ленинград, Воркута).

Нисходящая фильтрация грунтовых, во многих случаях загрязненных вод в каменноугольные водоносные горизонты приводит ко вторичному загрязнению этих горизонтов, воды которых используются для водоснабжения. Минерализация грунтовых вод в Москве нередко достигает 10–15 г/л, максимальная — 130 г/л (в районе Моховой улицы).

В связи с проблемой загрязнения подземных вод особую важность приобретает изучение биохимических процессов, связанных с различными видами техногенных отложений, образовавшихся на месте бывших свалок, полей орошения и болот. При этом необходимо обратить внимание, что для всех городов независимо от того, в какой геологической среде они находятся, отмечается образование и постоянное накопление техногенных отложений в процессе городского строительства и дальнейшей эксплуатации сооружений. Техногенные отложения содержат значительное количество органического вещества. Биохимические процессы, протекающие в анаэробных условиях, приводят к заметным выделениям метана и сероводорода, что является результатом разложения органического вещества с участием микроорганизмов. При неосмотрительной застройке участков бывших свалок скопление метана в подвальных помещениях зданий неоднократно приводило к возникновению аварийных ситуаций, иногда с человеческими жертвами.

В качестве примера резкого загрязнения можно привести данные по химическому составу вод верхнекаменноугольного водоносного горизонта в районе Купавны (Ногинский район). Содержание ионов Fe в этих водах повысилось до 10 мг/л, Cl — до 1000 мг/л, ароматических запахов — до 5 баллов. Источник загрязнения — грунтовые воды, в свою очередь сильно загрязненные стоками завода "Акрихин". Верхнекаменноугольные воды в значительной мере загрязнены в районе Щелкова. Источники первичного загрязнения — промпредприятия города.

Существенным источником загрязнения подземных вод, используемых для водоснабжения, могут служить различного рода карьеры. Так, в районе Воскресенска происходит загрязнение грунтовых вод продуктами выщелачивания фосфогипса и пиритных агарнов, содержащихся в отвалах близрасположенных фосфоритных карьеров. Просачивание этих вод в среднекаменноугольный водоносный горизонт привело к повышению минерализации его вод до 2 г/л. Очагами загрязнения являются также и карьеры химически инертных, например строительных, материалов, особенно в случаях, когда их выемки прорезают водоупорные глинистые породы.

Отработанные карьеры такого рода нередко используются как места стихийных, неконтролируемых, а иногда и официальных свалок промышленных и бытовых отходов. По этой причине произошло бактериологическое и химическое загрязнение каменноугольных водоносных горизонтов в районе Подольска. Подобные проблемы, связанные с загрязнением и оживлением карста, характерны для Уфы, Перми, Горького.

Во многих случаях наблюдается оседание территории городов в результате сочетания подтопления и комплекса других процессов (осадок, откачки глубоких вод, уплотнения некоторых грунтов). Так, установлено, что территория Таллина опускается со скоростью 10–30 мм/год на общем фоне поднятия Северной Эстонии.

В городах — центрах добывающей промышленности в результате подработки территории при добыче полезных ископаемых происходят многочислен-

ные нарушения поверхности, просадки грунта. В таких городах велика доля неудобных земель (отвалы, просевшие участки земли, которые нередко заболачиваются). Неиспользуемые, неудобные и нарушенные земли представляют собой в то же время существенный резерв городов. Так, в СССР площадь неиспользуемых территорий составляет в среднем по городу - центру крупной агломерации около 6,3 % от соответствующей площади.

Протекание техногенных геологических процессов интенсифицируется тепловыми аномалиями. Так, на территории Москвы сформировалась аномальная зона диаметром свыше 40 км, температура грунта и грунтовых вод в пределах которой на отдельных участках превышает фоновую на I2-I4, а в пиках - на 50°. При этом нарушения теплового режима прослеживаются до глубины 150 м. Для Москвы, например, за 90 лет ежегодное поступление тепла в недра за счет влияния города и эксплуатации водоносных горизонтов составило около $3,7 \cdot 10^9$ ккал, что эквивалентно сгоранию 500 т условного топлива.

В то же время замораживание грунта в связи со строительством котлованов и проходкой туннелей метрополитена (понижение температуры до -10, -26°C) или созданием подземных хранилищ сжиженного газа (понижение температуры до -160°C) приводит к возникновению локализованных, длительно существующих участков низких температур. Например, за время строительства Московского метрополитена было выработано в общей сложности около 10^8 ккал холода.

Таким образом, изменения геологической среды, проявляющиеся в возникновении техногенных геологических процессов на территории городов, в значительной степени определяются особенностями геологической среды и в такой же степени типом города.

Изменения геологической среды урбанизированных территорий оказывают существенное влияние на состояние ресурсов, принадлежащих природным системам, составляющим основные элементы "наземного" ландшафта (водные объекты, почвы, растительность).

Главным фактором возникновения и последующих изменений геологической среды в городах является техногенное воздействие. Это означает, что развитие геологической среды не может полностью регулироваться естественными факторами, определявшими в прошлом развитие гидролитосферы. Геологическая среда не является полностью саморегулирующейся системой и нуждается в управлении. В социально-экономическом плане цель такого управления геологической среды может прямо или косвенно (влияя на использование природных ресурсов и здоровье населения) нарушить условия функционирования хозяйственных систем и привести к значительным потерям, связанным с повышением издержек производства и снижением темпов роста.

Города являются своеобразными геотехническими системами. Между двумя системами - техногенной и геологической - действуют положительные и отрицательные связи, ускоряющие или замедляющие изменения геос-

логической среды, поэтому вся система должна рассматриваться как единое целое.

Оценка геологической среды в территориальных комплексных схемах охраны окружающей среды

Научная концепция территориальной комплексной схемы охраны окружающей среды (ТКС ООС) определяет две ее основные функции: 1) выявление структурно-функциональных связей и взаимовлияний в системах типа природно-техногенная среда, итогом которого является оценка и прогноз состояния геологической среды; 2) коррекцию роли и возможностей общества в вопросах рационального использования природных ресурсов (в частности, литосферы), определение границ допустимого вмешательства в ход геологических процессов (другими словами, границ возможной и целесообразной адаптации).

Городской объект ТКС ООС рассматривается в качестве сложной природно-техногенной системы (ПТС), ограниченной в пространстве, связанной функционально и существующей в едином отрезке времени. Природно-техногенная система включает в себя инженерный объект (или взаимосвязанный комплекс объектов) и контактирующие с ним природные среды, а также действующее общество (население и его деятельность). При составлении ТКС ООС директивными являются пространственные и временные границы ПТС. Временные границы определяются сроком действия ТКС ООС, прогнозными характеристиками. Пространственными границами являются границы города или его ближних пригородов, они могут быть определены социальными, экономическими, градостроительными или естественно-природными причинами.

Геологическая среда — один из элементов ПТС, она отражает аспект взаимодействия техногенной составляющей с гидролитосферным пространством.

На состояние геологической среды, в частности на направление и скорость протекающих в ней процессов, оказывает большое влияние ряд внешних факторов. Характер и масштабы подобного влияния зависят как от характеристик самой среды, так и от природы, направленности и интенсивности внешних факторов. В свою очередь, геологическая среда оказывает обратное воздействие на связанные с ней внешние природные факторы, а в ряде случаев через них и на природно-техногенные системы.

При взаимодействии техносферы с геологической средой происходит трансформация территориальных литосферных ресурсов. Под территориальными литосферными ресурсами понимаются определенные по качеству и количеству (площади дневной поверхности, объему) блоки геологической среды, служащие материально-пространственным базисом экономической и социальной деятельности человека.

Специфика территориальных литосферных ресурсов заключается в том, что они являются: 1) ресурсами неспециализированного (многовариантного) освоения (по сравнению, например, с ископаемыми ресурсами); 2) по своей качественной и количественной определенности, формирую-

щейся в результате процессов литогенеза и эпигенеза, невозпроизводимыми ресурсами, но в то же время могут замещаться частично или полностью искусственными ресурсами с заранее заданным количеством; 3) стационарными ресурсами, т.е. не могут быть перемещены, не могут расширяться или сокращаться без сокращения или расширения ресурсов сопредельных территорий; 4) обладают по сравнению с водными и некоторыми другими ресурсами рядом особых свойств: а) гетерогенностью, реализующейся в значительной пространственной изменчивости и временной динамичности; б) структурно-текстурной устойчивостью; в) особой контрастностью строения; г) кумулятивностью; д) скоростью и замедленностью конечного эффекта взаимодействия; е) эластичностью (адсорбцией внешних воздействий); ж) избирательной трансляцией воздействия.

Город в рамках ТКС можно рассматривать как регулируемую систему, функционирование которой зависит от состояния и взаимодействия системобразующих элементов. Надежность действующей системы проявляется в "отказах", т.е. в неспособности сохранять запланированный уровень функционирования. Выделяются постепенные отказы, самовосстанавливающиеся (сбои) и внезапные [40].

В научной концепции ТКС ООС реализуются четыре основных принципа: системность, комплексность, вариантность и программно-целевой подход [50, 71].

Исследование города как объекта ТКС ООС требует применения комплекса методических приемов, позволяющих оптимально оценить существующее и прогнозное состояние геологической среды. Геологическая среда как элемент ПТС также должна быть охарактеризована с помощью методических приемов, среди которых можно выделить группу универсальных, применяемых при оценке и других компонентов ПТС (методы математические, системного анализа, картографический, экспертных оценок, расчетно-экономический), а также группу специальных геологических методов (сравнительно-геологический, палеогеологический и т.п.).

Среди общеметодических приемов одним из наиболее современных, устанавливающих стратегию исследований, является метод системного анализа, определяющий подход к геологической среде как к сложной системе, служащей подсистемой природно-техногенных объектов более высокого ранга. В этом случае ПТС - геологическая среда - обладает разнообразными системными характеристиками: целостностью, организованностью (сложностью и упорядоченностью), управляемостью, способностью к адаптации и др. В общем случае функционирование ПТС обуславливается природно-техногенной и эксплуатационно-технической подсистемами. Геологическая среда может рассматриваться как организованная в определенном иерархическом порядке система, где элементами ее служат системы самого низшего ранга, ниже которого "декомпозиция" не проводится в соответствии с поставленными целями. Соответственно исследование ПТС включает в себя анализ связей и взаимовлияний элементов подсистемы.

Одной из задач ТКС ООС является прогноз трансформации среды в процессе запланированного освоения и выработка рекомендаций по достижению желаемого (оптимального) режима существования ПТС. Для решения этой задачи может быть привлечен метод экспертных оценок. Использование экспертных оценок помогает формализовать сбор, обобщение и обработку мнений специалистов с целью получения наиболее вероятной оценки того или иного фактора или ситуации в целом. Как правило, экспертные оценки используются в том случае, когда трудно применить более точные способы или отсутствуют методы точного измерения (инструментального или расчетного) объекта или явления. Экспертные данные после соответствующей математической обработки нивелируют субъективность индивидуальных оценок.

Разработка ТКС ООС города требует составления картографической модели-серии специальных карт с использованием методов математической статистики, что весьма популярно и освоено картографией [3]. Анализ взаимных связей между факторами, определяющими структуру объектов, между состояниями объектов и процессами их развития может отчасти опираться на корреляционный анализ [18]. Применение статистического анализа дает возможность выявить закономерности размещения явлений, определить тесноту связи между ними, установить ведущие факторы. Обработка территориальных данных методами математической статистики позволяет построить так называемые статистические поверхности (в изолиниях), способствующие проведению районирования территории. Для установления связей между различными явлениями (факторами) используются корреляционные методы; наиболее популярным и разработанным для картографической оценки является метод, основанный на вычислении коэффициента парной корреляции [3]. Установление корреляционных связей в лучшем случае (наиболее обоснованно) проводится при сопоставлении изолинейных карт (в том числе и карт статистических поверхностей). При таком сопоставлении различных параметров появляется возможность получать достаточную выборку для определения корреляционных связей.

Математические методы могут применяться не только для создания картографических моделей, но и для первичной обработки получаемых сведений (данных о природной или техногенной составляющей ПТС). Помимо общепринятых методов, геологический аспект составляемых ТКС ООС требует применения специальных геологических методов. Среди последних можно назвать сравнительно-геологический (основанный на понятии актуализма). Использование сравнительно-геологического метода позволяет провести районирование на основе территорий-аналогов (ключей), обладающих сходными геологическими параметрами. Сопоставлению могут быть подвержены как отдельные факторы, так и их комплексы. К специальным геологическим методам могут быть отнесены и методы гидрогеологических, геохимических, геофизических расчетов и обработки эмпирических данных. Сложностью объекта исследования - ПТС - обусловлена необходимость привлечения методов различных специализированных направлений. Так, специальные методы

экономических расчетов после соответствующей обработки используются для получения оценок экономической эффективности уже проведенных или планируемых мероприятий и сложившегося ущербобразования, для осуществления экологического обоснования рекомендуемых в ТКС ООС мероприятий.

Таким образом, в процессе разработки ТКС ООС города привлекается комплекс разнообразных методов, позволяющих творчески подойти к решению задач рационального природопользования.

Содержание и объем информации, используемый для составления ТКС ООС, определяются основными положениями научной концепции: системностью, комплексностью, вариантностью и программно-целевым подходом. Соответственно к информации предъявляются требования, которые должны обеспечить: 1) системность, временную и пространственную взаимосвязь объектов и явлений, преодоление узкой специализации исследований; 2) применение генетического подхода, что позволит реконструировать главные этапы жизненного цикла ПТС и использовать информацию для получения прогнозных оценок; 3) использование социально-экологического подхода, позволяющего разработать механизм регулирования взаимодействий между ПТС путем перебора системы альтернативных проектно-технологических решений; 4) применение нормативных показателей для получения экономических оценок.

Информация оценивается ее содержанием: полезностью, качеством, эффективностью, а также стоимостью, полнотой, достоверностью, временным критерием. Особенно быстро "стареет" информация о состоянии геологической среды на территории градопромышленных комплексов, что следует учитывать при сборе и обработке исходных данных.

Положенная в основу составления ТКС ООС информация и получаемые оценки должны в общем случае отвечать определенным требованиям, главные из которых сформулированы на с. 31. Перечислим их еще раз: репрезентативность, конструктивность, рациональность, масштабность, необходимость и достаточность, степень генерализации.

Как правило, составлению территориальных комплексных схем охраны окружающей среды предшествуют сбор и анализ отраслевых, научных, проектных аналогичных разработок. Многообразие данных, различие используемых методов, критериев оценки ставят разработчиков ТКС ООС в трудное положение. Во многом это относится и к данным о геологической среде, так как она обычно рассматривается в зависимости от предназначения, вида использования. Геологическая среда может оцениваться по своим инженерно-геологическим качествам для разных видов строительства, кроме того, как территориальный ресурс для любых видов наземного освоения, как ресурс материальный, предназначенный к изъятию в качестве полезного ископаемого.

Помимо названного разнообразия подходов к оценке, имеющиеся материалы, как правило, характеризуют один, два или группу взаимосвязанных компонентов геологической среды, не обеспечивая единства оцениваемого объекта.

В зависимости от возможностей исследователей (времени, научно-методической и технической базы) оценка в составе ТКС ООС любой из природ-

ных сред, в том числе и геологической среды может осуществляться более кратким (называемым экспертным) способом или более длительным, основанным на постепенном переходе от частных оценок к общим, сопровождающимся детальным исследованием уникальных объектов.

Первый способ предполагает экспертную оценку (в баллах или иных единицах) компонентов природной среды или объектов природно-техногенной системы. Последующее ранжирование по степени опасности, наибольшей вероятности возникновения конфликтных ситуаций при взаимодействии хозяйственных объектов и геологической среды позволяет выделить приоритетные объекты или компоненты среды. Ранжирование может проводиться для уже установленного, актуального состояния геологической среды, относительной рациональности ее использования, степени концентрации конфликтных ситуаций. Аналогичные оценки могут быть сделаны на расчетный период действия территориальной комплексной схемы. В таком случае, конечно, необходимо учитывать не только запланированное развитие хозяйственных структур, нарастание интенсивности техногенных нагрузок, но и сопровождающие их тенденции в изменениях геологической среды, нарастание загрязнения, увеличение площадей и интенсивности проявления инженерно-геологических процессов.

Во втором случае для получения оценки состояния геологической среды проектировщик должен располагать данными о прямых и косвенных факторах (определяющих фоновую геологическую обстановку развивающейся ПТС и трансформированную геологическую обстановку), позволяющими дать прогноз преобразования геологической среды ПТС на период действия ТКС ООС. Прямая информация содержит сведения непосредственно об элементах геологической среды, косвенная — о состоянии техносферы и, возможно, контактирующих с геологической средой природных сред.

Наиболее общие принципы получения и использования информации для проектирования следующие: 1) принцип унаследованности. Учитывается сложность и длительность развития городской среды. Актуальная (текущая) информация (сбор и анализ ее) должна дополняться ретроспективной информацией; 2) принцип системного соответствия. Все геофакторы в зоне техногенеза находятся во взаимосвязи и взаимозависимости с факторами техногенеза и другими природными факторами. Реализация этого принципа заключается в сборе основной и дополнительной информации, анализ которой отражает не только состояние ПТС, но и тенденции ее трансформации в процессе развития; 3) принцип непрерывности. Заключается в постоянном обновлении информации. Составленная ТКС города базируется на предшествующей и современной ей информации, обновление ТКС на базе новых данных происходит с помощью системы литомониторинга; 4) принцип неаддитивности вклада факторов. Различные субкомпоненты геологической среды в разных условиях, в том числе на разных этапах развития города обладают неодинаковой значимостью оценки состояния. Этот принцип определяет необходимость выделения при сборе и обработке информации глав-

ной и вспомогательной и степень ее значимости; 5) принцип последовательности. Отражает необходимость поэтапного сбора информации и ее анализа. В процедуру сбора и обработки информации входят постановка цели, определение масштаба исследований, установление значимых факторов геологической среды, техносферы, природных условий в целом, выбор главных и дополнительных показателей, решение методических задач сбора и отображения информации (карты, матрицы, таблицы и т.п.), сбор собственно информации, выраженной в информативных показателях, получение поэлементных и интегральных, прямых и косвенных оценок.

Таким образом, информационная база территориальных комплексных схем охраны природы города дает возможность, используя различные методы обработки, получить оценку состояния геологической среды, в том числе и прогнозную.

Как правило (и это закреплено в различных методических разработках [50, 65]), в ТКС городов оценка состояния проводится по отдельным компонентам системы, но крайне редко учитываются системность и взаимовлияние компонентов.

Следует учесть, что процессы, явления, протекающие в геологической среде, тесно связаны с исходными (управляющими) параметрами, которые в данном случае могут быть охарактеризованы инженерно-геологическими условиями. Дополнительные характеристики определяются рациональными природными условиями, особенностями инфраструктуры города. Для Ленинграда, например, существенны мощности искусственных грунтов, наличие погребенных долин, для Одессы – наличие горных выработок (катакомб) в черте города.

Специфика геологической среды города, ее трансформированность, зависимость от воздействия инженерной структуры, постоянное статическое и динамическое влияние городских сооружений обуславливают необходимость учета интенсивности хозяйственного воздействия.

Крупные промышленно развитые города концентрируют на ограниченной площади комплексные по своему воздействию объекты – селитебную застройку, промышленные объекты, значительные водозаборы, промстоки и всевозможные отходы, иногда – горнопромышленный комплекс, к этим территориям тяготеют площади массовых рекреаций. В этом случае, по-видимому, следует оценивать интенсивность комплексного воздействия, отмечая лишь специфичность техногенного воздействия, связанного с редкими, уникальными видами освоения на городской территории (например, гидротехнические сооружения, горнопромышленный комплекс и т.д.). Косвенными показателями интенсивности могут служить численность населения (или численность деятельного населения), валовая продукция, баланс вод или водопотребление, энергопотребление и т.п.

Основное воздействие на геологическую среду города оказывают инженерные коммуникации, транспортные потоки, сооружения жилого, социально-бытового, промышленного назначения.

Это выражается в трансформации геологической среды (грунтов, уровней и состава грунтовых вод, рельефа и т.п.), с одной стороны, и в деформациях отдельных сооружений (аварии, прорывы трубопроводов, нарушения целостности зданий) — с другой.

В составляемых территориальных комплексных схемах целесообразно использовать, кроме характеристик плотности, насыщенности (например, плотность коммуникаций, дорожно-уличной сети), комплексные оценочные характеристики наиболее мощных воздействователей (например, гидротехнических сооружений, крупных промышленных предприятий и т.п.).

Рекреационную освоенность можно рассматривать как увеличение плотности населения за счет временных жителей, нарастание плотности инженерно-коммунальных объектов периодического пользования, специфику эксплуатации природных ресурсов и промышленного производства, наличие транспортных магистралей не хозяйственного назначения. Для рекреационных территорий необходим учет неравномерности нагрузки в течение года, что во многом зависит от специализации рекреации — использования одного-двух компонентов геологической среды (например, минеральных вод) или всего природного комплекса в целом. Тем не менее в большинстве случаев общими являются неравномерность режима использования, преобладание коммунально-бытовых, селитебных видов освоения, практически полное отсутствие промышленности.

Практически любой вид хозяйственной деятельности приводит к механическим или химическим изменениям грунтовых вод. Непосредственными информационными показателями могут служить данные о специальной деятельности, вызывающей понижение или повышение уровня грунтовых вод. Хозяйственная деятельность, направленная на эксплуатацию глубоких горизонтов подземных вод, связана с отбором воды, иногда с частичной ее закачкой. При составлении схем следует учитывать наличие групповых водозаборов, а также предприятий с оборотной системой водоснабжения. Информационными показателями могут служить данные о существовании групповых водозаборов, объеме потребляемой (изымаемой из недр) воды, длительности существования водозабора. Фактор времени подлежит учету, так как от длительности эксплуатации во многом зависит размер охваченной изменениями территории.

Практически любой вид хозяйственной деятельности связан с формированием отходов, складываемых или частично перерабатываемых. Территориально концентрация отходов тяготеет к местам сосредоточения промышленных предприятий, городских поселений, горнодобывающих предприятий, поэтому они могут учитываться как изолированный источник воздействий на геологическую среду, усиливающий комплексное воздействие от группы источников — производителей (поставщиков) отходов.

Трансформация геологической среды происходит вследствие различного загрязнения. Изученность влияния воздействия весьма неравномерна, особенно слабо изучены искусственные физические поля. Искусственные физические поля, хотя и локализируются на ограниченных пространствах, по

интенсивности проявления и воздействия на окружающую среду могут существенно превосходить свои природные аналоги. Тем существеннее их влияние на изменения гидrolитосферного пространства, выступающего в качестве компонента природно-техногенной системы.

Тепловое загрязнение обычно приурочено непосредственно к источникам воздействия, сосредоточенным в городах и связанным с изменением температурного режима грунтовых и водных масс. Длительное воздействие источников (или поглотителей) тепла нарушает температурный режим гидrolитосферного пространства, увеличивая (или уменьшая) температуру горных пород и содержащихся в них подземных вод, коррозионную обстановку и в конечном итоге нормальное функционирование ПТС.

Динамические поля искусственного происхождения объединяют акустическое (шумовое) поле, поле вибрации и поле индуцированной сейсмичности, обусловленное заполнением крупных водохранилищ.

Техногенное воздействие, связанное с организованным и неорганизованным выбросом отходов производственной деятельности, применением средств химизации, складированием отходов и сырья и т.п., приводит к образованию техногенных потоков вещества, в которых по сравнению со средним составом наблюдается высокая концентрация широкой ассоциации химических элементов. Многие из них, прежде всего тяжелые металлы [59], токсичны для живых организмов. Территориальное загрязнение осуществляется природными механизмами миграции, формирующими ореолы рассеяния. Ореолы рассеяния характеризуются составом, степенью концентрации, формой нахождения элементов, интенсивностью биологического загрязнения.

До сих пор к наиболее опасным загрязнителям относили пыль, угарный и углекислый газы, окислы серы, азота, углеводорода, соединения фосфора и калия, синтетические органические вещества, радиоактивные изотопы. В настоящее время выявилась очень высокая опасность депонирования в горных породах и почвах тяжелых металлов.

Безопасные условия для населения определяются системой гигиенических нормативов качества окружающей среды. В ее основе лежат ПДК вредных веществ в реципиентах – воде, воздухе, почво-грунтах. Среда, содержащая вредные элементы в пределах ПДК, не оказывает негативного последствия на близкое и отдаленное (генетическое) состояние человека (второй аспект стал учитываться в самое последнее время). Нормативные величины ПДК зависят от длительности периода воздействия – в СССР установлены два норматива ПДК: разовый и среднесуточный, а для ртути и мышьяка – и среднегодовой.

Основные информационные показатели содержания химических элементов и соединений в твердых отходах следующие: 1) среднее содержание, г/т, мг/кг, %; 2) коэффициент концентрации химического элемента (K_c), равный отношению содержания элемента в рассматриваемом объекте к фоновому содержанию в субкомпонентах ГС – почве, подземных водах, донных илах, грунтах и др.

В территориальных комплексных схемах целесообразно выделять на картографических моделях источники загрязнения (актуальные и потенциальные), дифференцируя их качественно — по объему и продолжительности выбросов (или по осредненным показателям концентраций токсичных веществ в осадках на разных расстояниях от источника загрязнения). Одновременно выявляются природные условия распределения фоновых техногенных ореолов, ореолов загрязнения грунтов и вод.

Состояние геологической среды в целом оценивается с помощью совокупности показателей, характеризующих ее структуру и свойства, которые определяют ее поведение. Процедура оценки состояния среды занимает одно из центральных мест при составлении территориальных комплексных схем. На основании этого устанавливается перечень "горячих точек" на изучаемой территории, где при взаимодействии среды с техногенными объектами могут возникнуть негативные последствия; осуществляется прогноз техногенных изменений геологической среды; предлагаются различные рекомендации по оптимизации взаимодействий, минимизации ущербов.

Прямых однозначных показателей состояния геологической среды не существует, однако, как ясно из ранее сказанного, по комплексу показателей можно получить косвенную оценку состояния геологической среды и прогноз ее развития. Наиболее сложным в оценке является определение "нормы" нахождения порогов, граничных условий, при которых состояние геологической среды из нормального переходит в трансформированное, деградированное, критическое. В настоящее время не разработано единой стандартизированной системы оценки состояния геологической среды, а известные работы в этой области грешат субъективизмом, часто зависящим от ценностной ориентации исследований. Вследствие последнего обстоятельства оценки и показатели, с помощью которых они осуществляются, для одного и того же объекта в зависимости от целей могут быть самыми разными. В ТКС окружающей среды городов обычно осуществляется дифференциальная или (и) интегральная оценка.

Территориальные комплексные схемы охраны природы города, помимо фиксации и оценки (качественной и количественной) существующего состояния природно-техногенной системы, содержат прогнозные оценки и рекомендации по улучшению существующей и предотвращению неблагоприятных (вплоть до катастрофических) ситуаций. В общем виде требования к ним представлены в табл. 3. Следует добавить, что к оценке геологической среды эти требования относятся в полной мере.

Основные задачи, решаемые реализацией системы рекомендуемых мероприятий, следующие: 1) рациональное использование пространственно-территориальных ресурсов гидrolитосферы; 2) улучшение использования основных фондов, включая фонды экологического назначения; 3) улучшение физической среды обитания, в том числе рекреационных ресурсов; 4) оптимизация здоровья человека; 5) оптимизация состояния экосистем.

При реализации мероприятий (в аспекте геологической среды) необходимо учитывать факторы системного взаимодействия: 1) со стороны гео-

Т а б л и ц а 3. Требования к территориальной комплексной схеме охраны окружающей среды города

Особенности техногенной системы "город"	Специальные требования к разработке ТКС ООС
Исключительное разнообразие комплексов сооружений, неоднобразность функциональных зон города	Учет разнообразных источников воздействий и их реципиентов, разнообразие системы мероприятий
Плотность размещения, зависимость от существующей планировки, наличие многочисленных промышленных воздействий	Разработка комплексных мероприятий, как специальных экологического назначения, так и экологически ориентированных широкого профиля
Повторность основных объемно-планировочных и конструктивных решений несложных сооружений	Разработка типизированных решений в рамках ТКС
Сложность взаимовлияющей инженерной инфраструктуры, использование подземного пространства	Учет трансляции экологических взаимодействий на другие объекты
Развитие физического и химического загрязнения окружающей среды	Учет динамичности и взаимовлияний загрязнений, значительно большая, чем в рамках области, роль физического загрязнения при меньшей, чем у химического загрязнения, способности
Взаимодействие элементов и компонентов системы в условиях быстрого изменения качества природных блоков	Учет необходимости нормального функционирования материально-технических объектов и их литогенной основы с учетом динамичности всех компонентов системы
Совпадение со средой обитания человека	Учет специфических требований на создание комфортных условий труда, быта и отдыха населения, поддержание здоровья населения
Наличие охранных и заповедных зон	Учет необходимости поддержания оптимального уровня функционирования литогенной основы городских заповедных зон, сохранности массивов в основании уникальных зданий и т.п.

логического компонента: а) воздействие экзогенных ущербобразующих геодинамических процессов регионального (реже локального) уровня, проявляющихся в естественных и антропогенно нарушенных условиях; б) воздействие естественных и накладывающихся на них антропогенных нарушенных (техногенных) геохимических полей (реже от линейных источников воздействия – геофизических полей); 2) со стороны компонентов агро-техносферы, социосферы и биосферы: а) химическое загрязнение приземного слоя воздуха, а затем почв и гидrolитосферы токсичными и пахучими веществами, а также взвешенными частицами; б) физическое загрязнение от линейных техногенных источников (формирование техногенных вибрационного, теплового, электромагнитного и других полей); в) механическое воздействие, приводящее к трансформации гидrolитосферных блоков (в зонах интенсивного техногенеза).

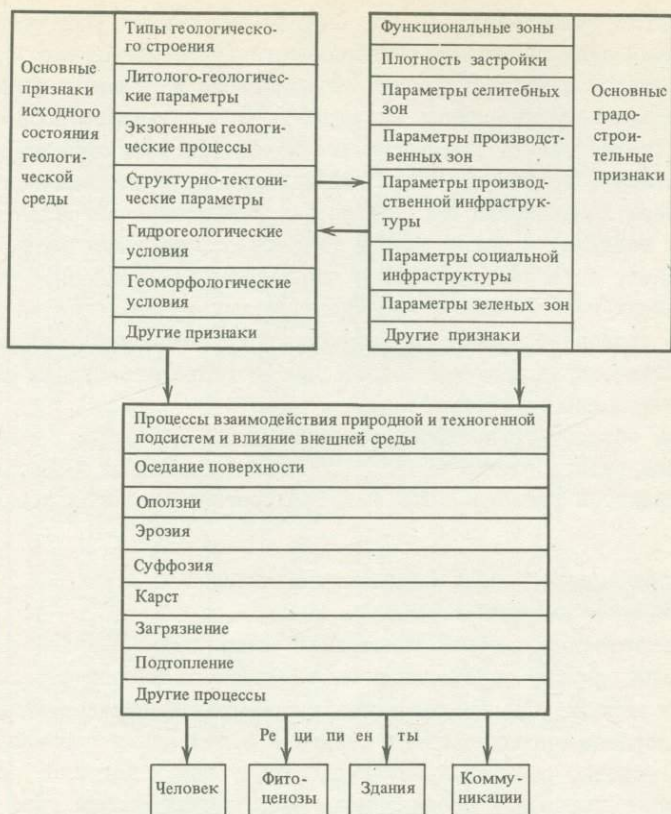
Таким образом, в процессе разработки ТКС ООС города с привлечением комплекса разнообразных методов обработки данных и прогнозирования осуществляется решение задач рационального природопользования.

Информационная основа комплексной оценки геологической среды города

В соответствии с общей концепцией комплексной оценки геологической среды и алгоритмом определения экономического ущерба формируется база исходных данных. Она представляет массив систематизированных, определенным образом организованных сведений о природных особенностях территории города, распределении градостроительных нагрузок, отдельных инженерно-технических сооружениях. База данных должна быть целостной, обладать способностью расширяться за счет привлечения новых характеристик или уточнения отдельных параметров. Использование количественных и полуколичественных независимых показателей обеспечивает достоверность расчетов и исключает повторение аналогичных параметров. При этом надо учитывать возможные погрешности измерений, их метрологию, размерность, а кроме того, фактор времени (момент измерений, длительность воздействия и т.п.).

Множество характеристик и параметров природно-техногенной системы "город" образует четыре группы: первая включает параметры исходного состояния природной среды; вторая – характеристику техносociосферы, выражаемую градостроительными параметрами; третья – параметры, характеризующие динамику развития системы; четвертая – характеристику реакции отдельных объектов-реципиентов на взаимодействие управляющих признаков, вошедших в первые две группы (рис. 1).

Первая группа управляющих параметров представляет покомпонентную характеристику геологической среды. Она включает как интегральные показатели (тип рельефа, геологического разреза и т.п.), так и частные (глубина залегания грунтовых вод и т.п.). Эта группа параметров должна охарактеризовать геолого-литологическое строение территории (состав,



Р и с. 1. Структура основных признаков, привлекаемых к комплексной оценке геологической среды города

свойства, возраст, мощность пород); наличие грунтов с особыми свойствами (просадочные, пльвинные, многолетнемерзлые и др.); экзогенные геологические процессы (площадь распространения и интенсивность проявления). Для сейсмоопасных районов важнейшим признаком является оценка сейсмичности территории, характеристика тектонических структур. Во многих случаях ведущими признаками будут гидрогеологические – тип гидрогеологической среды, глубина залегания грунтовых вод, глубина залегания второго от поверхности уровня подземных вод, их гидрохимическая характеристика. Геоморфологические условия характеризуются типом рельефа и его морфометрическими показателями.

Таким образом, первая группа управляющих параметров может быть представлена названными основными признаками, хотя в каждом конкретном случае они должны дифференцироваться в соответствии с региональными особенностями состояния геологической среды определенной территории, например развитием многолетнемерзлых пород, высокой сейсмической активностью.

Градостроительные управляющие признаки отражают особенности техногенной нагрузки на геологическую среду, интегральным выражением которых является функциональное зонирование территории. К частным показателям интенсивности воздействия техногенеза относятся плотность застройки, этажность зданий, площадь асфальтового покрытия, наличие зеленых насаждений.

Зоны преимущественного промышленного использования необходимо рассматривать с учетом их влияния на геологическую среду. Особо выделяют предприятия горнодобывающей промышленности, деятельность которых связана с нарушением целостности геологического массива, формированием техногенного рельефа, образованием депрессионных воронок. К нарушению целостности массива приводит и проложение подземных коммуникаций (транспортных, водонесущих и др.). Линейные объекты техногенного воздействия характеризуются протяженностью, плотностью, а также сравнительной интенсивностью влияния. Специфическое влияние геологическая среда испытывает в зоне гидротехнических сооружений, особенно в сейсмоопасных районах.

В процессе взаимодействия техносциосфера и геологическая среда трансформируются. Динамика, интенсивность изменений определяются третьей группой признаков, включающей характеристику инженерно-геологических и геологических процессов (наличие, площадь и интенсивность развития). Для территории г.Москвы, например, наиболее значительными являются процессы оседания поверхности, развитие суффозии, карста, овражной эрозии, оползней.

Важное место в преобразовании геологической среды занимают процессы, связанные с изменением гидрогеологических условий: подтопление, заболачивание, осушение, загрязнение подземных вод. Последнее часто обусловлено возникновением депрессионных воронок при интенсивном водооборе.

Для городских территорий характерно образование техногенных грунтов: намывных, насыпных, а также культурного слоя большой мощности. Промышленные предприятия и автомагистрали являются активными источниками физического и химического загрязнения почв и подземных вод. Многочисленные железнодорожные и трамвайные линии, кабели, теплосети обуславливают возникновение искусственных физических полей.

Природно-техногенная система "город" в процессе взаимодействия управляющих подсистем вырабатывает определенный режим функционирования, в котором возможны различной степени отклонения от расчетного уровня, сказывающиеся на отдельных элементах системы, рассматриваемых как реципиенты. Например, неправильная эксплуатация здания, построенного с учетом инженерно-геологических особенностей площадки, может привести к незначительным деформациям в виде трещин или в случае значительных изменений геологической среды к креку, появлению сквозных трещин и других серьезных нарушений. Для исправления аварийных ситуаций требуется вовлечение существенных дополнительных ресурсов. Экстремальным проявлением аварийной ситуации является катастрофическая, 55

при которой в природной или техногенной среде реципиенты претерпевают необратимые изменения.

На анализе аварийных ситуаций основаны расчеты экономического ущерба, приравниваемого, как правило, к затратам на восстановление исходного уровня функционирования системы. В качестве реципиентов в городе можно рассматривать человека, его здоровье, комфортность жизнедеятельности; фитоценозы, их состояние; здания и сооружения жилищно-гражданского и производственного назначения (самостоятельно выделяются историко-архитектурные памятники, приоритетность восстановления которых определяется с учетом их исторической ценности); наземные и подземные коммуникации. Для абиотических объектов аварии заключаются в нарушении запланированного уровня функционирования, для фитоценозов - в нарушении процессов воспроизводства биомассы, для человека - в повышении заболеваемости, появлении специфических болезней.

Таким образом, рассмотренная структура исходных данных (с учетом региональных особенностей) может служить информационной основой для комплексной оценки геологической среды города.

Основные принципы комплексной оценки геологической среды

Традиционно оценка геологической среды проводится с инженерно-геологических позиций, т.е. оценке подвергаются качества отдельных компонентов геологической среды, непосредственно влияющие на ведение наземного или подземного строительства, выбор режима функционирования сооружений.

Если учитывать многофункциональное использование городской территории, где геологическая среда является основанием сооружений, дорог, парковых насаждений, вмещающей средой по отношению к подземным коммуникациям, водозаборным сооружениям, комплексу метрополитена и т.п. и, помимо этого, должна соответствовать нормативным требованиям, то необходима комплексная оценка геологической среды, осуществляемая в настоящее время лишь с привлечением экономически сопоставимых показателей. Для такой оценки следует рассматривать различные аспекты использования геологической среды с последующим выделением приоритетных.

Геологическая среда как подсистема сложной природно-техногенной системы "город" обладает рядом специфических свойств, а также свойствами, присущими всей системе в целом. Наиболее общие свойства геологической среды описаны ранее, а здесь остановимся на их особенностях в условиях города.

Гетерогенность, неоднородность геологической среды возрастает в связи с высокой концентрацией техногенных объектов - источников воздействия, а также в связи с наличием искусственных грунтов. Кроме того, в результате вертикальной планировки на территории города на поверхность выходят грунты различного возраста и состава, что приводит

к формированию сложных процессов эпигенеза, весьма дифференцированных по площади.

В условиях города наблюдается кумуляция изменений геологической среды, что связано с обилием разнообразных объектов-воздействователей, способствующих формированию в грунтовой толще сложных искусственных физических и химических полей, превышающих по интенсивности естественные.

Динамичность среды возрастает в связи с общей нестабильностью, быстрым (относительно естественного времени развития геологических процессов) изменением управляющих техногенных факторов, общей подвижностью подземных вод, газов, биоты, влиянием искусственных физических полей. При длительном формировании городской геологической среды наступает неопределенное неустойчивое равновесие, а наибольшую динамичность проявляет геологическая среда на участках пионерного освоения. В городе наблюдается трансформация рельефа с тенденцией к выравниванию, стабилизации, уменьшению скорости рельефообразующих процессов. Преобразование рельефа сопровождается формированием новой системы стока поверхностных вод (вдоль инженерных объектов, с переводом основного объема поверхностного стока под землю).

В целом на территории города геологическая среда потеряла способность к саморегулированию и вынуждена адаптироваться к особым условиям. При этом управление направлено главным образом на достижение надежности функционирования природно-техногенной системы. Достижение надежности геологической среды определяется учетом характеризующих ее геологических факторов, от которых зависит напряженность функционирования, опасное состояние или авария элементов системы.

Территориальная вариация геологических факторов определяется одновременными взаимодействиями: внутри геологического компонента; между геологической средой и звеньями различных экосистем; материально-технических объектов с элементами геологической среды. В числе геологических факторов, оказывающих существенное (императивное) экологическое воздействие на элементы систем соответствующего иерархического уровня, можно выделить косвенные и прямые. К косвенным геоэкофакторам относятся условия залегания геологического тела, его пространственные размеры (порядок), экспозиция, углы наклона ограничивающих поверхностей, неоднородности, проявляющиеся во внешнем контуре (разломы, ступени, западины, интразональные включения, фациальные переходы и границы и др.).

Прямые геоэкофакторы - это физико-механические свойства почвогрунтов и грунтов, их химический и минералогический состав, тепло-влажнообеспеченность, структурно-текстурные характеристики (пористость, трещиноватость, ориентация микрослоев, гранулометрический и микроагрегатный состав), микробиота и др. В их состав входят также интегральные геоэкофакторы (комплексы факторов), обуславливающие

проявление в определенных литогенетических зонах ущербобразующих процессов: эрозионных, карстово-суффозионных, криогенных, оползневых и др. К прямым геоэкофакторам следует относить некоторые особенности гидрогеологических обстановок, характеризующие мощность зоны аэрации, взаимосвязь поверхностных и подземных вод, уровни, напоры, состав и температуру подземных вод, характер и мощность водоупора, фильтрационные параметры и др.

Надежность природно-техногенной системы проявляется в наличии отказов, т.е. в неспособности системы сохранять запланированный уровень функционирования без внешнего вмешательства (дополнительных затрат ресурсов). Отказы в функционировании природно-техногенной системы могут проявляться как возникновение негативных экологических факторов - последствий. Например, такой регионально развитый геологический фактор, как положение города в рельефе, приводит к следующим последствиям: в межгорных понижениях и котловинах наблюдается среднегодовая повторяемость застоя загрязненного воздуха 50-75 % с непрерывной продолжительностью застоя более 5-10 дней, что вызывает случаи острых заболеваний населения; на всхолмленных равнинах и низкогорьях вероятность загрязнения воздуха 30-50 % с продолжительностью 1-5 дней; еще ниже вероятность загрязнения воздуха на низменностях - 15-20 % с продолжительностью застоя до 3 дней. Именно эти региональные особенности обусловили низкий уровень патологии - от нарушения физиологических функций до кратковременного раздражения органов чувств [66].

Анализ вероятных причин отказов в функционировании систем различного рода позволяет разделить их на шесть групп: недостаточность планируемой адаптации из-за неизученности геологической среды или условий ее оптимального взаимодействия с другими компонентами системы; отклонения при реализации проекта (конструктивная, технологическая и др.); неправильный учет "эффекта смежности" - взаимовлияния смежных многокомпонентных элементов систем; нерациональная эксплуатация отдельных компонентов или элементов системы; "усталость" резервных элементов из-за их износа; проявление непредвиденного ущерба, вызванного главным образом катастрофическими явлениями.

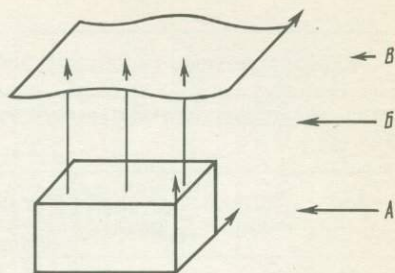
Таким образом, основной целью при комплексной оценке геологической среды как подсистемы природно-техногенной системы "город" является обеспечение надежности функционирования системы. При этом необходимо решение оптимизационных экологических и экономических задач.

Многомерная модель сложного взаимодействия элементов в природно-техногенной системе "город" включает: а) трехмерное пространство управляющих параметров (природные, включая геологические, оценка деятельности, а также технические параметры сооружений); б) пространство переменных состояний геолого-техногенных систем и факторов внешней среды; в) поверхность "откликов" природно-техногенной сис-

темы, выражающихся в "отказах", нарушениях системы в целом и ее элементов (рис. 2).

Р и с. 2. Многомерная модель взаимодействия элементов в природно-техногенной системе "город"

А - пространство управляющих параметров (система управления); Б - пространство переменных состояний и факторов внешней среды; В - поверхность откликов (объект управления)



К числу исходных природно-техногенных параметров следует отнести геоморфологическую (тип рельефа, его морфометрические показатели) и инженерно-геологическую (обобщенные данные о разрезах, грунтах, уровне, динамике и составе грунтовых вод и т.п.) характеристики (табл. 4).

Наиболее представительные объекты, принадлежащие поверхности "откликов", в городах - это здания и сооружения. Поэтому основным параметром управления является наличие (или отсутствие) ошибок на стадиях изыскания, проектирования, строительства и эксплуатации. При этом ошибки изысканий могут быть связаны с недостаточным учетом техногенной и естественной изменчивости геологической среды во времени, неправильным определением показателей свойств, состава грунтов и т.п. Ошибки проектирования чаще всего определяются неполным учетом инженерно-геологических условий, эксплуатационных факторов, конструктивными просчетами и т.д. Ошибки строительства выражаются в низком технологическом и техническом уровне, отступлении от проектных решений, а ошибки эксплуатации - в нарушении технологических режимов, игнорировании влияния не учтенных при проектировании инженерно-геологических факторов (например, транспортной вибрации, если рядом со зданием появился непредусмотренный ранее в проекте застройки проезд), превышении сроков физического износа конструктивных элементов и т.д. Некоторые причины отказов зданий систематизированы в табл. 5.

Такие ошибки устанавливаются путем экспертных оценок проектов, полевых обследований зданий и сооружений, проведения анализов физико-механических свойств строительных материалов и конструкций.

К управляющим особенностям технических параметров, например применительно к зданию, относятся такие строительные характеристики, как тип фундамента, его заглубление, материал основных строительных конструкций здания, его возраст, этажность и др.

Очевидными примерами "откликов" являются деформации зданий, повреждения подземных коммуникаций. В соответствии с характером и степенью распространения трещин, перекосов, кренов, свищей, разломов и т.п. устанавливается категория повреждения объекта.

Т а б л и ц а 4. Основные параметры природно-техногенной системы "город" и их кодировка

Матрица I

Характеристика геологической среды

Геоморфологическая характеристика основания					Количество генетических слоев в Q отложениях		
Пойма	I-II террасы	III терраса	Флювиогляциальная равнина (IV терраса)	Моренное плато	2 и менее	3	4 и более
56.1	56.2	56.3	56.4	56.5	57.1	57.2	57.3

Мощность культурного слоя, м			Наличие слабых грунтов	Наличие водоупора в Q отложениях	Наличие пропаченного горизонта в Q отложениях	Глубина залегания водоносного горизонта, м		
< 2	2-5	5				< 5	5-10	> 10
58.1	58.2	58.3	59	60	61	62.1	62.2	62.3

Матрица 2

Характеристика постройки

Тип фундамента		Заглубление фундамента, м		Материал постройки		Возраст здания, лет				Этажность			
Лента	Лента+сваи	< 3	> 3	Кирпич	Другие материалы	До 10	10-20	20-50	> 50	1-3	4-7	> 7	Наличие подвала
63.1	63.2	64.1	64.2	65.1	66	67.1	67.2	67.3	67.4	68.1	68.2	68.3	69

Характеристика повреждений

Трещины					Перекосы внутренних перекрытий	Крен сооружения	Подтопление подвала	Промачивание фундамента, сырость стен, гниение	Деформации, связанные с подтоплением	Разрушение фундамента	Выкрашивание кладки цемента	Разрушение арматуры
Волосные < 5 мм	5-15 мм	> 15 мм	Сквозные	Пола и потолка								
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43

Матрица 4

Причины аварий

Разнородность грунтов основания и недоучет их физических свойств	Недоучет физико-химических свойств культурного слоя	Изменения УГВ	Утечки и связанные с ними изменения физических свойств	Конструктивные ошибки	Отсутствие гидроизоляции и отвода атмосферных вод	Плохое качество строительных работ и материалов	Воздействие войны	Износ, амортизация	Метро и другие подземные строительства	Вибрация	Бастройка (пристройка) смежных участков
44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55

Т а б л и ц а 5. Причины аварийности зданий, %

Недостатки	Болгария	Венгрия	Польша	СССР
Проектирования	21	41	21	13
Строительства	57	31	59	69
Эксплуатации	22	28	20	18

Деформации и аварии зданий и сооружений вызывают ежегодные затраты сотен миллионов рублей на ремонт строительных конструкций. При этом деформации промышленных зданий и сооружений влекут за собой и материальные потери, связанные с сокращением объемов и увеличением себестоимости продукции. Следует отметить, что стоимость зданий и сооружений составляет примерно половину стоимости основных фондов промышленных предприятий. Деформации и аварии жилых зданий и сооружений вызывают не только экономический, но и социально-экологический ущерб.

Денежная оценка последствий различных видов отрицательного воздействия, включая техногенные изменения геологической среды, на ре-

ципиенты представляет собой экономический ущерб. Основные методологические принципы экономической оценки ущерба от техногенных изменений окружающей среды изложены в "Типовой методике" ... [73]. Величина экономического ущерба как составляющая результата природоохранных мероприятий используется при оценке их экономической эффективности и выборе наилучшего варианта. Кроме того, эта величина учитывается при установлении нормативов экономического стимулирования и экономических санкций за результаты природоохранной деятельности, а также при обосновании экономически целесообразных масштабов затрат на охрану окружающей среды.

Предлагаемые методы расчетов обеспечивают народнохозяйственный подход и полный охват затрат с учетом структуры основных реципиентов и применением различных способов определения ущерба: с использованием натуральных показателей и условных единиц нагрузок на реципиенты, а также с пересчетом их в денежное выражение с привлечением нормативов затрат на компенсацию или предотвращение отрицательного воздействия и нормативных и планово-перспективных оценок единиц условной нагрузки.

В данной методике, однако, практически не рассматриваются последствия таких техногенных воздействий, как загрязнение земной поверхности и подземных вод, подтопление территории, вибрация, эрозия, сульфидно-карстовые и другие процессы.

В соответствии с "Типовой методикой..." разработаны специальные и отраслевые методики оценок отдельных видов ущербов.

Межотраслевая "Методика определения экономической эффективности рекультивации нарушенных земель" [48] содержит раздел оценки экономического ущерба, причиняемого нарушенными землями (карьерами, отвалами) окружающей среде. Основными видами воздействия являются: загрязнение почв, поверхностных вод и атмосферы, подтопление и иссушение территории, усложнение конфигурации землепользований и т.п. В соответствии с этой методикой рассчитаны укрупненные величины ущербов от нарушенных земель, изменяющиеся в среднем по стране от 20 до 1500 руб./га. Эти нормативы могут быть использованы при оценке общего ущерба от техногенных изменений геологической среды в городах с развитой горнодобывающей промышленностью.

Отраслевая методика Минуглепрома [51] ориентирована на оценку ущерба, вызываемого отрицательным воздействием предприятий угольной промышленности на геологическую среду, но не рассматривает последствия воздействия измененной геологической среды и их оценку.

Наибольшее внимание в плане оценки ущерба уделено такому виду воздействия, как подтопление городской территории.

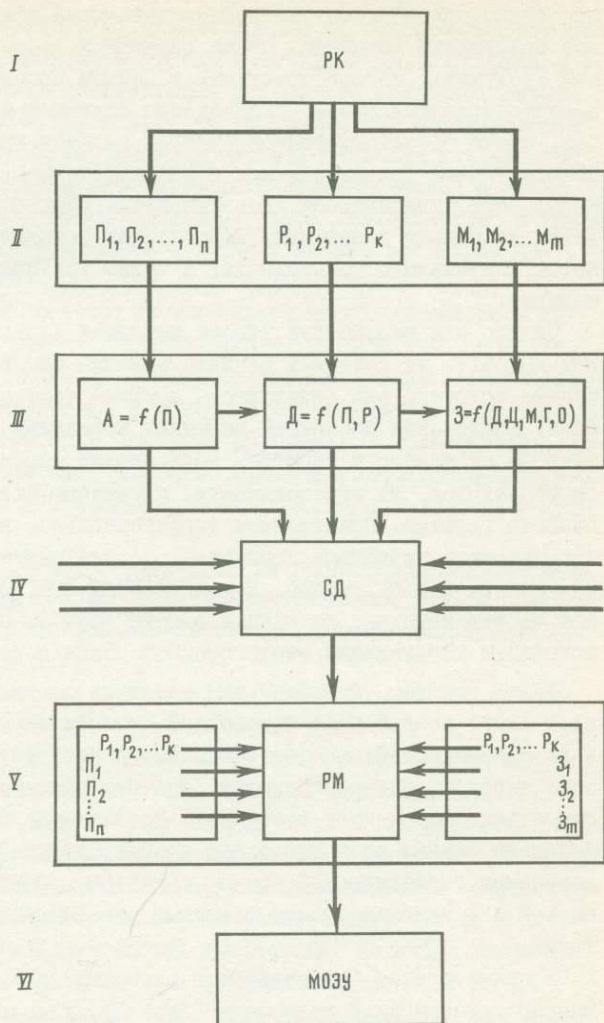
В разработках Харьковского филиала ВНИИ ВОДГЕО [61] и НИИЭС Госстроя СССР [49] даны рекомендации по определению экономической эффективности инженерной защиты городов от подтопления. В этих работах общий методический подход одинаковый - ущербы представлены дифферен-

цировано по реципиентам: производственная сфера (полное или частичное разрушение объектов, порча оборотных средств, повреждение готовой продукции, потери продукции в период простоев оборудования), непроизводственная сфера (повреждение основных непроизводственных фондов, порча оборотных фондов, гибель зеленых насаждений, сверхнормативные утечки при аварии или в результате коррозии трубопроводов). Кроме того, учитываются дополнительные затраты личных средств населения на ремонт помещений, компенсацию преждевременно выбывших предметов длительного пользования, а также увеличение заболеваемости населения.

Однако эти разработки, кроме методики Харьковского филиала ВНИИ ВОДГЕО [61], не содержат расчета величин натурального ущерба, на оценке которого они базируются, а также соответствующей нормативной базы. Приложения последней включают нормативы – удельные величины ущербов от явного и скрытого подтопления территории с учетом уровня грунтовых вод, их агрессивности, изменения физико-механических свойств грунтов. Приведенные территориальные коэффициенты позволяют использовать названные нормативы, рассчитанные для эталонного города, для любого района страны. Методика ВНИИ ВОДГЕО может явиться составной частью методики по оценке общего ущерба, вызываемого всеми техногенными изменениями геологической среды в городе.

Таким образом, существующие методики оценки ущербов не учитывают всех видов воздействия измененной геологической среды на реципиенты и их особенностей: многообразия видов воздействия, динамики процессов, широкого распространения обратных связей, а также специфики структуры реципиентов в городах. Возникла необходимость создания методики оценки экономического ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды, с учетом перечисленных выше особенностей и с использованием основных рекомендаций из рассмотренных методик.

В связи с этим был предложен алгоритм (рис. 3), предусматривающий разработку основной концепции (блок I), классификаций инженерно-геологических процессов и явлений, реципиентов, предупредительных и защитных мероприятий (блок II), оценку интенсивности воздействия геологической среды и изменений состояния реципиентов (в натуральных единицах – количество и категоричность деформаций сооружений, количество и характер повреждений на водонесущих коммуникациях и т.д.), а также удельные стоимостные оценки ущербов, причиняемых отдельным реципиентам и литогенно-территориальным ресурсам, затраты на защитные мероприятия (блок III). Практически на этом этапе разрабатывается система показателей для оценки ущерба. Затем осуществляется поиск, сбор и систематизация исходных данных и нормативных показателей (блок IV). На следующем этапе разрабатывается модель оценки ущерба.



Отрицательное воздействие техногенно измененной геологической среды сказывается по-разному на состоянии реципиентов. Применительно к территории может произойти нарушение целостности литогенной основы либо устойчивости грунтов, а для зданий – его полное разрушение или частичная деформация и т.д. Установление причинности таких последствий, т.е. структуры связи и значимости отдельных ущербообразующих факторов, является первостепенной задачей. Воздействие геоэкофакторов зависит от природного фона, интенсивности и времени воздействия, топологических свойств различных компонентов систем (соседства, удаленности, взаиморасположения), а также от реализованных и планируемых адаптационных возможностей компонентов. Для оценки последствий воздействия важно выделить среди общей совокупности ущербообразующих факторов приори-

Р и с. 3. Алгоритм разработки методики оценки экономического ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды

I: РК - разработка концепции оценки ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды; П - разработка классификаций: П - инженерно-геологические процессы и явления (подтопление, оползни, суффозионно-карстовые, оседания поверхности земли и др.); Р - реципиенты (территория, здания, коммуникации, зеленые насаждения, человек); М - предупредительные и защитные мероприятия; Ш - формирование обобщенной модели оценки ущерба (общей системы показателей): А - оценка интенсивности воздействия: радиус (глубина, высота) распространения, степень агрессивности, продолжительность и т.п.; Д - оценка изменений состояния реципиентов: категория деформации и т.д.; З - затраты на предупреждение воздействия и устранение его последствий; Ц - денежная оценка компенсации единицы натурального ущерба, причиняемого реципиенту Р воздействием изменений ИС; Г - затраты на предупреждение воздействия изменений ИС на реципиенты Р (затраты на осуществление предупредительных и защитных мероприятий); О - дополнительные затраты на освоение территории с осложненными геологическими условиями; У: СД - сбор исходных данных, накопление нормативных показателей; У: РМ - разработка модели расчета величины экономического ущерба от воздействия изменений ИС с учетом вероятностных зависимостей реципиентов и видов воздействия, изменений состояния реципиентов и стоимостных оценочных показателей; У: МОЭУ - методика оценки экономического ущерба, вызываемого техногенными изменениями ИС

тетные, отличающиеся масштабом и интенсивностью проявленных или потенциально вредных экологических воздействий, значительно снижающих запланированный уровень качества функционирования систем, что требует создания большого "запаса" адаптации и резервирования более высоких затрат.

К числу приоритетных геофакторов, провоцирующих напряженность функционирования, опасное состояние или аварию, относятся прежде всего комплексы, формирующие зоны развития геодинамических процессов, или массивы, сложенные породами особого состояния и свойств, а также характеризующиеся значительными циклическими изменениями (в зонах периодического подтопления, в сейсмогенных зонах и др.). Приоритетные геофакторы приурочены к зоне лабильной геологической среды, подверженной в ходе техногенного воздействия наибольшим изменениям.

Сила проявления "откликов" определяется как интенсивностью воздействия техногенно измененной геологической среды, так и исходными параметрами, временем и качеством строительства объектов социотехносферы. Следует заметить, что, кроме материальных потерь, связанных, например, с повреждениями и авариями, вызываемыми техногенными изменениями геологической среды, одновременно происходят негативные изменения в протекании естественных процессов в биосфере (снижение кислородопroduцирующей роли зеленых насаждений в зоне подтопления), что отражается на здоровье и благополучии (комфортное состояние) человека. Нарушение

равновесия в любой экосистеме — это нарушение воспроизводственных процессов, способности к саморегуляции, уменьшение разнообразия, потери генофонда и т.д., что оборачивается по отношению к человеку в конечном счете не только ухудшением среды обитания, но и сокращением производительных сил, т.е. экономическим ущербом.

Жизнь и здоровье человека, снижение степени удовлетворения физиологических, эстетических, культурных и других потребностей непосредственно оценить весьма сложно. Можно экономически интерпретировать социальный ущерб в виде суммы затрат на восполнение качества физической среды обитания, в том числе ее нарушенного эстетического облика, а также стоимости потерь от вынужденной нетрудоспособности, преждевременной смерти, необходимости переселения населения в результате негативного воздействия стихийных и техногенных процессов.

Сложность комплекса причинно-следственных связей между рассмотренными компонентами определяет необходимость экономической оценки интегрального ущерба.

Таким образом, величина общего ущерба складывается из прямого (недополучение полезных ископаемых, промышленной продукции, потери основных фондов, снижение продуктивности лесного и сельского хозяйства и пр.) и косвенного (рост заболеваемости населения, снижение производительности труда, ухудшение оздоровительных и рекреационных ресурсов и др.). Ущерб может быть предотвращенным, непредотвращенным и потенциальным.

Предотвращенный ущерб — это те потери, которые удалось избежать благодаря принятым своевременно соответствующим мерам. Непредотвращенный ущерб возникает в случаях невыполнения планируемых предупредительных мероприятий или при непредвиденном (стихийном) развитии процессов и масштабе техногенных нагрузок. Этот ущерб оценивается затратным методом, т.е. его величина приравнивается к необходимым для его устранения затратам. Например, при деформации зданий, повреждениях коммуникаций ущерб равен затратам на дополнительный ремонт, обусловленный негативным воздействием измененной геологической среды. Если предотвращаемый ущерб определяется исходным состоянием компонентов взаимодействия, непредотвращаемый зависит от развития отдельных компонентов. При кумулятивных негативных изменениях среды и проявлении эффекта дальнего действия в геологической среде возникает потенциальный ущерб, включающий потери в отдельный период или потери, проявляющиеся в смежных системах.

Полный экономический ущерб следует определять следующими методами:

1) прямым счетом — оценка натуральных ущербов (категорийность деформаций, повреждений) с учетом удельных затрат, необходимых на ликвидацию фактических потерь; 2) установлением потенциального ущерба, причиняемого всей территории города, на основе выявленных вероятностных зависимостей между определенными исходными параметрами и откликами в социотехносфере.

Первый метод базируется на значительном объеме первичных количественных данных, обеспечивающем достоверность выборки. Второй основывается

на знании наличия или отсутствия признака, но в связи со значительным количеством обычно рассматриваемых параметров весьма трудоемкий и может быть реализован только с помощью ЭВМ. Установление вероятностных зависимостей позволит выполнять прогнозные расчеты. Оценка экономического ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды, возможна лишь при использовании обоих методов, дополняющих друг друга.

Предлагаемый подход к оценке ущерба от техногенных изменений геологической среды обеспечивает сопоставимость отдельных ущербобразующих факторов, а также комплектность подхода к оценке геологической среды.

Показатель полного экономического ущерба можно считать комплексной оценкой геологической среды. Комплексность оценки заключается в том, что она включает основные компоненты среды с учетом роли каждого из них в ее формировании и трансформации, вклада в ущербобразование. Данная оценка может быть учтена при принятии планировочных, градостроительных, природоохранных и других решений.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ Г.МОСКВЫ)

Инженерно-геологическая типизация геологической среды

Инженерно-геологические условия территории г.Москвы достаточно сложны. Комплекс пород герцинского и альпийского структурных ярусов, находящийся в зоне интенсивного инженерно-хозяйственного воздействия, очень многообразен как по глубине, так и в плане и не всегда характеризуется благоприятными свойствами для размещения и эксплуатации зданий и инженерных сооружений. Верхняя часть карбонатного массива пород карстоувана, и в местах отсутствия мощной толщи юрских глин мезозойско-кайнозойские водоносные горизонты тесно связаны с каменноугольными, в результате чего в толще карбона в последние годы наблюдается оживление карстово-суффозионных процессов. На остальной территории города выдержанные горизонты водоупорных глин келловея и оксфорда, с одной стороны, экранируют проникновение в нижележащие толщи загрязняющих компонентов, а с другой — определяют развитие на отдельных участках оползней. С гляциальным комплексом пород, развитым на территории города, связан процесс подтопления. Неблагоприятными свойствами обладают широко распространенные на территории Москвы техногенные отложения, сформировавшиеся в процессе всей истории города.

Особенностью гидрогеологической обстановки города являются многочисленные, сложно взаимосвязанные водоносные комплексы и горизонты, которые приурочены к двум структурным ярусам. Мезозойско-кайнозойский водоносный комплекс представляет собой сложную систему, обладающую существенной фильтрационной неоднородностью в плане и разрезе. Условия питания и разгрузки водоносных горизонтов мезозойско-кайнозойских отложений в значительной мере определяются техногенными факторами. Воды каменноугольных водоносных горизонтов, интенсивно используемые для водоснабжения города, испытывают существенные снижения напоров в эксплуатируемых горизонтах, особенно в мячковско-подольском. Отмечается инверсия питания и разгрузки водоносного горизонта в местах размыва юрского регионального водоупора, что наряду с другими факторами имеет большое значение для активизации карстово-суффозионных процессов, химического и физического загрязнения подземных вод каменноугольных водоносных горизонтов.

Существенную роль в формировании инженерно-геологических условий играет и рельеф территории, особенности которого определяют объемы ра-

бот по планировке участков, что влияет на размещение сооружений, транспортных и других коммуникаций. В геоморфологическом отношении Москва расположена в центральной части Русской равнины. Разнообразие рельефа Москвы объясняется в первую очередь его положением на стыке трех крупных геоморфологических областей, которые своими краевыми частями, разделенными долинами рек Москвы и Яузы, входят на территорию города.

Естественно-историческое смешанное инженерно-геологическое районирование территории Москвы, выполненное коллективом авторов под руководством Г.А.Голодковской [12, 13], дает возможность наиболее полно выявить ее пространственные инженерно-геологические закономерности. Оно было проведено путем последовательного выделения ряда соподчиненных таксономических единиц, характеризующихся общностью инженерно-геологических условий, с использованием на каждом уровне определенных классификационных признаков, которые выбирались от общего к частному.

Выбору критериев районирования предшествовал анализ инженерно-геологических условий территории города, который показал, что среди наиболее общих признаков, определяющих инженерно-геологические условия местности (тектоническое строение, геоморфологические и литолого-фациальные особенности, гидрогеологическая и геодинамическая обстановка), наиболее существенными, важными для территории Москвы являются строение рельефа и геологическое строение верхних горизонтов земной коры, от которых зависят гидрогеологические условия, геологические процессы и свойства пород. Кроме того, изучение геологических разрезов показало, что нижняя граница изучаемой толщи, обусловленная глубиной техногенного воздействия, в разных частях территории должна быть различной. В пределах речных долин, где размыта толща водоупорных глин юрского возраста и мезозойско-кайнозойские водоносные комплексы тесно связаны с каменноугольными, активизируются суффозионно-карстовые процессы, протекающие в известняках карбона. В этом случае глубина изучения геологической среды обусловлена глубиной залегания толщ верхнего и среднего карбона. На остальной части территории города, где в разрезе сохранились водоупорные глины юрского возраста, экранирующие каменноугольные известняки, за нижнюю границу изучаемого разреза была принята эта региональная толща.

Изложенное выше определило выбор критериев, использованных при инженерно-геологическом районировании территории Москвы [12, 13].

Рельеф и геологическое строение мезозойско-кайнозойского чехла в значительной степени зависят и являются результатом направленности и интенсивности новейших тектонических движений, поэтому в основу выделения самых крупных в пределах Москвы территориальных таксономических единиц - инженерно-геологических областей - были положены геоморфолого-неотектонические особенности территории.

Согласно общей схеме инженерно-геологического районирования территории СССР, Московская агломерация находится в пределах Русской платфор-

мы (регион I порядка) на южном склоне Московской синеклизы (инженерно-геологический регион II порядка) на стыке трех геоморфологических областей, в соответствии с которыми выделены три инженерно-геологические области. Московско-Окской пологоувалистой эрозионной равнине (в пределах города - Теплостанской возвышенности) отвечает "инженерно-геологическая область умеренных новейших тектонических движений в кайнозойское время с преобладанием устойчивых поднятий" (область А), которая занимает юго-западную часть города. Смоленско-Московская моренно-эрозионная возвышенность, заходящая краем на север и северо-запад Москвы, выделена в "инженерно-геологическую область слабых проявлений новейших тектонических движений в кайнозойскую эру с преобладанием поднятий" (область Б). Северо-восточная часть города, входящая в пределы Мещерской зандровой низменной равнины, относится к инженерно-геологической области, которая характеризуется "весьма слабыми проявлениями новейших тектонических движений в кайнозойское с преобладанием поднятий" (область В).

Кроме перечисленных областей, в пределах Москвы обособлены в качестве самостоятельной инженерно-геологической области долины рек Москвы и Яузы, унаследованно развивающиеся с доледникового, а местами и с доюрского времени (область Г).

Ниже дана характеристика выделенных таксономических единиц по материалам исследований МГГЭ ПО Центргеология.

Область А представляет собой ледниковую, преимущественно моренную с участками флювиогляциальной равнину среднечетвертичного возраста, которая характеризуется пологоволнистым, сильно расчлененным рельефом. Абсолютные отметки поверхности здесь до 255 м, а превышения над урезом рек - 130-140 м. Северный склон возвышенности круто обрывается в долину р.Москвы. Сильно расчлененный рельеф поверхности обусловлен густой сетью долин мелких рек и оврагов. Глубина расчленения рельефа 10-45 м/км², густота расчленения 0,5-3 км/км² и более, крутизна склонов до 6°. Глубина залегания глин юрского возраста (оксфорд-келловейских), которые служат нижней границей изучаемой толщи, от 60 до 130 м. В геологическом разрезе над глинами вскрываются юрские же пески, перекрытые мощной толщей меловых отложений преимущественно песчаного состава. Четвертичный разрез представлен переслаивающейся толщей флювиогляциальных и моренных пород мощностью, изменяющейся от 5-10 м на водоразделе до 20-30 м на присклоновых участках. В этом же направлении увеличивается глубина залегания грунтовых вод - от 3-10 м (местами до 1 м) до 15 м. Гидравлическая связь между водами четвертичных, меловых и юрских водоносных горизонтов и комплексов почти везде отсутствует.

На территории города описанное строение инженерно-геологической области характерно для высокого правобережья р.Москвы. Строительство в пределах области связано с трудностями освоения сильно расчлененного рельефа, осложненного процессами эрозии, плоскостного смыва и оползания.

Инженерно-геологическая область А стала градостроительно осваиваться примерно с 40-х годов нынешнего столетия, однако начало интенсивного освоения относится к середине 50-х годов. В соответствии с временем застройки этой территории область можно разделить на две части, различающиеся в настоящее время по степени неблагоприятных изменений инженерно-геологических условий.

В пределах территории, освоенной до 70-х годов (Кунцево, Рабочий Поселок, Раменки, районы МГУ, площади Гагарина, станций метро "Академическая" и "Каховская", Царицыно, Бирюлево), был значительно изменен рельеф, в результате чего накопился чехол техногенных отложений мощностью 6-10 м (в местах засыпанных долин малых рек, ручьев и оврагов), уменьшающийся до 1 м на водоразделах. Изменение гидрогеологической обстановки заключалось в обводнении верхней части четвертичных отложений и образовании верховодки в покровных суглинках, подъеме уровней грунтовых вод, постоянном или сезонном развитии локального подтопления. Эти изменения, как и загрязнение грунтовых вод и рост их агрессивности, особенно характерны для участков более ранней застройки. Изменение гидрогеологических условий вызвало ряд инженерно-геологических процессов: разуплотнение и увлажнение пород и, как следствие, уменьшение прочностных характеристик; оживление в бортах незасыпанных долин рек, ручьев и оврагов мелких оползней (из-за обводнения склонов); линейную суффозию вдоль засыпанных русел водотоков; морозное пучение глинистых и песчано-глинистых отложений; интенсификацию коррозионных процессов.

На территории, которая осваивалась в 70-80-х годах (Матвеевское, Очаково, Тропарево, Беляево, Теплый Стан, Ясенево, Сюзино, Чертаново и др.), обводнение пород верхней части разреза, как и загрязнение грунтовых вод, отмечено лишь на отдельных участках, что можно объяснить меньшей плотностью застройки, более высокой степенью расчлененности, а следовательно, и дренированности территории.

Область Б представляет собой моренную пологоволнистую, слаборасчлененную равнину среднечетвертичного возраста с фрагментами флювиогляциальной. Преобладающие абсолютные отметки поверхности в пределах моренной равнины - 165-185 м, в пределах флювиогляциальной - 155-175 м. Размах рельефа достигает 30 м. Глубина расчленения 5-15 м/км², густота расчленения 0,5-1 км/км², крутизна склонов до 1,5°. Толщина юрских глин, служащих региональным водоупором и нижней границей изучаемого разреза в пределах области, отмечена на глубине от 25 до 40 м. Залегающие выше верхневолжские и нижнемеловые пески частично размыты и характеризуются сокращенной (по сравнению с областью А) мощностью. В разрезе четвертичных отложений переслаиваются различные по возрасту и генезису породы. Начинается он окско-днепровской флювиогляциальной толщей песков, залегающих на дочетвертичных отложениях, а завершается среднечетвертичными мореной или флювиогляциальными песками

и современными озерно-болотными и болотными образованиями. Общая мощность четвертичных осадков изменяется от I2-I5 до 30, реже 35 м. В пределах области почти везде осуществляется гидравлическая связь между водами четвертичных и мезозойских водоносных горизонтов. Грунтовые воды прослеживаются на глубине 3-5 м, которая на отдельных участках уменьшается до 2-3 м от поверхности.

Особенностью инженерно-геологической области Б является длительный срок градостроительного освоения: районы в границах Садового кольца были застроены уже к 50-м годам прошлого столетия. Это привело к значительным изменениям рельефа за счет планировки и накопления техногенных отложений, мощность которых на больших площадях достигла 3-10 м. Часть области, расположенная за пределами окружной железной дороги, начала наиболее интенсивно осваиваться с середины 50-х годов нынешнего столетия (Химки-Ховрино, Бескудниково), в 70-х годах в основном было завершено строительство районов Бибирево и Лианозово.

Изменения гидрогеологических условий в пределах области Б идентичны изменениям, происшедшим на территории области А, но степень измененности несравненно выше, особенно в районах старой застройки. Максимальное повышение уровня грунтовых вод на отдельных участках моренной равнины достигает 5-40 м, составляя в среднем 2-4 м за период с 1953 по 1978 г. Существенно выше (по сравнению с областью А) и степень загрязнения грунтовых вод, особенно в южной части территории. Наибольшая агрессивность грунтовых вод отмечается как в зонах промышленных предприятий, так и в старых жилых районах. В комплексе инженерно-геологических процессов, развивающихся на территории области Б, следует назвать подтопление, линейную суффозию, морозное пучение, эрозийный размыв. Анализ деформаций зданий позволил их связать главным образом с изменением режима грунтовых вод: обводнением или осушением грунтов оснований в результате соответственно повышения или снижения уровня грунтовых вод.

Область В представляет собой среднечетвертичную задровую равнину, плоскую, слабо расчлененную, с редкими моренными останцами. Абсолютные отметки поверхности I40-I60 м, глубина расчленения 0-10 м/км², густота расчленения 0,5 км/км², крутизна склонов I,5°. Территория характеризуется простым геологическим строением. Региональным водупором, определяющим глубину изучаемого разреза (от 20 до 45 м), здесь, как и в областях А и Б, являются оксфордские глины. Над юрскими глинами залегают мощная толща верхнеюрских песков и маломощная пачка нижнемеловых песков, местами полностью размытых. Завершается разрез достаточно выдержанной толщей четвертичных пород общей мощностью 10-30 м, которые представлены главным образом окско-днепровскими и московскими флювиогляциальными песками, разделенными мореной днепровского оледенения, залегающей иногда с поверхности. В пределах области все водоносные горизонты мезозойско-кайнозойского чехла ги-

дравлически связаны между собой. Грунтовые воды отмечаются на глубине в среднем от 2 до 5, редко до 10 или менее 2 м.

Территория области В была застроена в 40-70-х годах, причем в процессе освоения изменения рельефа, в силу равнинности поверхности, оказались совсем незначительными. В связи с этим и гидрогеологическая обстановка в области претерпела сравнительно небольшие изменения. Здесь практически не отмечен подъем уровня грунтовых вод, который, судя по всему, близок к естественному. Сколько-нибудь существенных инженерно-геологических процессов на территории области не наблюдается, а случаи деформаций сооружений объясняются главным образом неравномерной сжимаемостью техногенных и естественных грунтов оснований, в меньшей степени - морозным пучением.

Сравнительный анализ ряда показателей выделенных областей дает возможность проследить различия, свойственные названным территориальным таксономическим единицам и доказывающие необходимость их обособления (табл. 6).

Т а б л и ц а 6. Сравнительная характеристика инженерно-геологических областей А, Б, В Москвы по данным Г.А.Голодковской, Н.И.Лебедевой [13]

Область	Абсолютные отметки поверхности, м	Густота расчленения, км/км ²	Глубина расчленения, м/км ²	Глубина регионального водоупора, м	Уровень грунтовых вод, м	Наличие гидравлической связи водоносных горизонтов МЗ - КЗ	Мощность покровных отложений, м
А	190-250	1-3	15-30	60-130	2-4	Нет	1-2
Б	165-185	1	5-15	25-40	2-5	Есть	1-2
В	150-165	0,5	10	20-45	2-5	Есть	Нет

Особое положение занимает область Г, пересекающая Москву с северо-запада на юго-восток. Долины р.Москвы и ее крупных притоков (Яузы, Сетуни, Сходни и др.) занимают третью часть площади города. В долинном комплексе выделены четыре уровня: три надпойменные и пойменная террасы.

Наибольшее распространение имеет самая высокая, третья надпойменная терраса (Ходинская) с абсолютными отметками 135-160 м. Над урезом р.Москвы ее поверхность возвышается на 30-35 м, местами понижаясь до 22-25 м, имеет небольшой уклон (1,5-3°) и ширину до 5 км. Терраса хорошо выражена в рельефе и прослеживается на всем протяжении реки в пределах города. От прилегающих к ней водоразделов и более низких террас она большей частью отделена пологим уступом.

Вторая надпойменная терраса имеет высоту 12-18 м у бровки и 20-22 м у тылового шва. Обычно она довольно хорошо выражена в рельефе и ее

фрагменты отмечаются вдоль всей долины в черте города. Угол наклона поверхности на большей части не превышает $1,5^{\circ}$. К первой надпойменной террасе она спускается пологим уступом. Однако значительно чаще терраса опирается на поверхность поймы.

Первая надпойменная терраса в черте города встречается лишь отдельными фрагментами и наиболее хорошо выражена в рельефе в Серебряном Бору (откуда ее название), Мневниковской излучине и в Замоскворечье. Относительная высота террасы 10 м.

Пойма р.Москвы ранее тянулась полосой вдоль береговой линии. С возникновением и развитием города началась застройка пойменных участков, приведшая к преобразованию поймы. В настоящее время пойма в большей степени — техногенное образование. Максимальная ее ширина достигает 3 км, высота над урезом реки 2,6 м. Пойма в значительной своей части затоплена вследствие коренной реконструкции русла р.Москвы в процессе строительства канала им. Москвы.

Своеобразие развития долин основных рек города определило сложный характер геологического строения области, пространственную невыдержанность геологических разрезов, их литолого-фациальную неоднородность, особенности геоморфологических и гидрогеологических условий. С наличием глубоко врезанных доледниковых долин (до глубины 20–50 м) связано отсутствие в разрезе глин юрского регионального водоупора, размыты которого установлены в пределах "центральной" прадолины рек Москвы и Яузы, в верховьях р.Яузы и в бассейне р.Лихоборки. На этих участках толща четвертичных отложений мощностью до 50 м, представленная в основном разновозрастными (от окско-днепровских до современных) аллювиальными, флювиогляциальными и озерными осадками, в отдельных случаях с маломощными прогляями днепровской морены, подстилается средне-верхнекаменноугольными карбонатными породами. Вскрываемые в разрезе карбоновых отложений органогенные известняки преобладают в разрезе и характеризуются высокой пористостью, сильной трещиноватостью и закарстованностью. Водоносные горизонты, приуроченные к каменноугольным породам, гидравлически тесно связаны с горизонтами четвертичных и мезозойских отложений. Эти обстоятельства способствуют развитию карсто-суффозионных процессов и определяют нижнюю границу изучения, которая в пределах описываемых участков должна быть опущена до верхов среднего карбона [13].

Освоение территории области имеет длительную историю. Наиболее плотно застроенной и значительно техногенно измененной в результате строительства линий метрополитена является часть области, ограниченная кольцевой железной дорогой. Именно в этих районах старой застройки располагаются мощные водозаборы подземных вод, наиболее старые промышленные предприятия. Здесь произошли самые значительные изменения в рельефе, накоплены толщи техногенных отложений мощностью до 3–10 м (поймы рек Яузы, Москвы, долина р.Неглинки). В пределах над-

пойменных террас мощность техногенных отложений снижена до I-6 м. За пределами кольца железной дороги также наблюдаются, но в виде отдельных участков площади развития техногенных отложений значительной мощности.

Изменение гидрогеологической обстановки области связано прежде всего с работой водозаборов как в пределах долинного комплекса, так и на водоразделах. Хорошая гидравлическая связь грунтовых, а также поверхностных вод рек Москвы и Яузы с каменноугольными водоносными горизонтами, в первую очередь с мячковско-подольским, привела в долине к формированию нисходящей фильтрации подземных вод.

В комплексе инженерно-геологических процессов, встречающихся на территории рассматриваемой области, прежде всего надо назвать карсто-суффозионные, приуроченные к зонам снижения уровня подземных вод (район Хорошевского шоссе); оседание поверхности земли; активизацию мелких оползневых подвижек; проявление суффозии у закрепленных оползневых склонов и вдоль коммуникаций.

Деформации зданий, отмечаемые в пределах области, как правило, объясняются неравномерной осадкой техногенных и естественных грунтов оснований и в меньшей степени снижением уровня грунтовых вод и аварийными утечками из водонесущих коммуникаций. Кроме того, многочисленные деформации связаны с проходкой горных выработок: динамическими и вибрационными нагрузками в процессе строительства метрополитена.

На данном уровне обособления границы выделенных таксонов являются, в соответствии с классификацией геологических границ Ю.А. Косыгина [34], резкостными (естественными), условными или произвольными. Первые прослеживаются с поверхности в виде линий, отделяющих области А и Б (на субмеридиональном отрезке) от области Г и оконтуривающих площади распространения отложений разного генезиса, состава и свойств. Остальные поверхностные границы, отделяющие флювиогляциальные песчаные отложения водоразделов областей Б и В от аллювиальных накопленных области Г также преимущественно песчаного состава, могут быть отнесены к условным границам третьего типа.

В разрезе боковые границы между областями и нижние границы изучаемого объема геологической среды можно отнести к произвольным, так как они ограничивают часть пространства вне зависимости от распределения состава и свойств подстилающих пород и совпадают в плане с границами отложений поверхностных геолого-генетических комплексов.

Дальнейшее районирование территории проведено на уровне инженерно-геологических районов, при выделении которых учитывались: строение, состав и мощность пород четвертичного возраста; наличие или отсутствие в разрезе мезозойских отложений, их состав, мощность. Анализ геологических разрезов позволил обособить в пределах каждой области по несколько районов, общее число которых равно 47, что отражает многообразие геологических разрезов, встречающихся на территории Москвы

[13]. Подобная детализация геологического строения очень осложняет оценку инженерно-геологических обстановок в целом, обоснование и выбор комплекса защитных мероприятий. Рациональное использование и охрана геологической среды затруднены без определенной схематизации геологических факторов и в первую очередь геологических разрезов. С учетом масштаба картирования геологические разрезы инженерно-геологических районов в пределах каждой области были генерализованы и объединены в определенные типы строения геологической среды. Основное различие выделенных типов разрезов определялось возможными сочетаниями и соотношением толщ разного возраста, генезиса и состава.

Таким образом, разрезы 9 районов области А были объединены в три группы, каждой из которых соответствует вполне определенный тип строения геологической среды; разрезы II районов области Б и 5 районов области В также были генерализованы и представлены тремя типовыми разрезами в каждой из этих областей. Более сложное геологическое строение долинного комплекса области Г нашло отражение в семи выделенных типах строения геологической среды.

К первому типу разрезов областей А, Б, В отнесены инженерно-геологические районы, сложенные с поверхности моренными суглинками московского или днепровского возраста, подстилаемые меловыми или, в пределах доледниковых долин, окско-днепровскими песками. Второй тип строения геологической среды этих областей характеризуется распространением с поверхности флювиогляциальных песчаных отложений (преимущественно московского возраста), залегающих на среднечетвертичных моренных суглинках, достигаемых песками окско-днепровского межледникового либо мезозойскими — нижнемеловыми или верхнеюрскими. В третий тип выделяются районы, пространственно тяготеющие к долинам рек Москвы и Яузы, разрезы которых целиком представлены толщей флювиогляциальных песков ниже-среднечетвертичного возраста.

Принципиальное сходство разрезов четвертичных отложений трех типов строения геологической среды названных областей облегчает выявление различий, свойственных им в силу принадлежности к разным инженерно-геологическим областям. Основные различия одноименных типов строения геологической среды следующие: своеобразие рельефа от пологоувалистого, глубоко расчлененного среди типов области А до выровненного, плоского, характеризующего поверхности типов строения геологической среды области В; разная степень сложности строения чехла четвертичных отложений, которая обусловлена значительной фациальной изменчивостью пород в пределах области Б, несколько меньше — области А и простотой разрезов области В; в разрезах мезозойских отложений наличие мощных толщ нижнемеловых песков в типовых разрезах области А и практическое их отсутствие (за исключением отдельных участков) в разрезах областей Б и В; сокращенная мощность верхнеюрских песчаных пород в области Б по сравнению с областями А и В; фильтрационное строение мезозойско-

кайнозойского водоносного комплекса, которое значительно сложнее в пределах первого и второго типов разрезов геологической среды областей А и Б по сравнению с соответствующими типами области В.

При выделении типов разрезов геологической среды в пределах области Г учитывались особенности строения четвертичного чехла в комплексе со своеобразием мезозойских и каменноугольных толщ: наличием древних погребенных долин, мощностью глин регионального юрского водоупора, отсутствием в разрезе мезозойских пород. Особое место в ряду типов геологических разрезов области Г занимают древние оползневые склоны, приуроченные к подмываемым участкам высокого правого берега р. Москвы.

Границы между выделенными типами строения геологической среды в пределах областей А, Б и В, согласно классификации Ю.А. Косыгина [34], могут быть отнесены к резкостным с поверхности и произвольным в разрезе. Границы типов геологической среды в области Г обусловлены распространением моренных суглинков, аллювиально-флювиогляциальных песков четвертичного возраста и толщ юрских глин, подстилающих объединенные аллювиальные отложения среднечетвертичного современного возраста первых от поверхности геолого-генетических комплексов. Поэтому с поверхности эти границы являются произвольными, совпадающими в плане с резкостными границами распространения перечисленных отложений, подстилающих аллювий долинного комплекса.

С генерализацией разрезов в процессе выделения типов строения геологической среды, конечно, связана потеря определенной информации, что особенно ощутимо при схематизации сложных разрезов. Например, первый тип строения геологической среды, обособленный в результате объединения разрезов инженерно-геологических районов (I-4) области А, включает в себя разрезы, характеризующиеся как двухслойным, так и четырехслойным фильтрационным строением. Сведенные в один разрез, они в целом отражают многообразие пространственных генетических и литолого-фациальных замещений в пределах данного типа, но затрудняют решение конкретных инженерно-геологических задач, зависящих от точности привязки отдельных или группы инженерных объектов к определенному реальному разрезу. Так как наибольшей пестротой характеризуются геологические разрезы первого и второго (области А), четвертого и пятого (область Б) типов, то именно в их пределах информационные потери представляются максимальными.

Кроме того, при схематизации разрезов долинного комплекса области Г, характеризующейся наиболее разнообразными инженерно-геологическими условиями, типы были выделены таким образом, что верхняя часть всех разрезов включала аллювиальные отложения всех террасовых уровней, начиная от третьей надпойменной террасы и кончая пойменными образованиями. Подобное группирование, безусловно, значительно снивелировало особенности, свойственные аллювию разного возраста.

Если учесть масштаб проведенных исследований, то можно считать, что выделенные типы геологической среды отражают все многообразие ин-

женерно-геологических обстановок города, которые характеризуются набором однозначных геологических факторов, обуславливающих одинаковый механизм протекания инженерно-геологических процессов и определяющих основные особенности инженерных решений. Проведенная инженерно-геологическая типизация территории Москвы была использована нами для оценки инженерно-геологического и эколого-экономического состояния геологической среды.

Единицей площади, положенной в основу расчетов, послужили квадраты со стороной 2 км, на которые предварительно была разбита вся территория города. Все показатели, выбранные для характеристики свойств геологической среды, рассчитывались поквратно. В качестве показателя, отражающего инженерно-геологические особенности территории, среди других было выбрано процентное соотношение площадей распространения выделенных типов строения геологической среды в пределах каждого квадрата. Учитывая, что каждому типу (группе типов) геологической среды отвечает определенный набор геологических и возможных инженерно-геологических процессов и явлений, можно установить связи между техногенным воздействием и изменениями геологической среды на качественном уровне. Опираясь на большое количество данных по состоянию инженерных сооружений, привязанных к конкретным типам техногенно-измененной геологической среды, можно решить обратную задачу, установив эти связи на статистико-вероятностном уровне.

Основные инженерно-геологические процессы на территории города

В настоящее время на территории Москвы достаточно широко развиты разнообразные геологические процессы и явления, обязанные своим возникновением, с одной стороны, естественным причинам, а с другой — активной хозяйственной деятельности. В зонах интенсивного техногенеза первые причины играют подчиненную роль, однако в местах, где воздействие человека на природу проявляется слабо, они главенствуют.

Исходя из сказанного все процессы и явления на территории города можно подразделить на две группы: 1) имеющие как естественное, так и техногенное происхождение (плоскостная, глубинная и боковая эрозия, суффозия, оползни, суффозионно-карстовые процессы, заболачивание); 2) непосредственно связанные с материально-техническими объектами или имеющие к ним отношение (морозное пучение, переработка берегов водохранилищ, оседание земной поверхности, коррозия и электрокоррозия)

1. Плоскостная эрозия в условиях города значительно ослаблена [35] за счет нивелирования рельефа, застройки территории, увеличения искусственных покрытий, зеленых насаждений и соответствующих мероприятий. Однако полностью ее нельзя исключить, поскольку она может активизироваться в районах новостроек в результате снятия (нарушения) почвенного покрова, а также в местах создания различных насыпей. В последнем случае при слабой задернованности насыпных грунтов песчано-

глинистого состава либо при ее отсутствии плоскостная эрозия проявляется наиболее сильно.

Глубинная эрозия, как и плоскостная, имеет тенденцию к ослаблению в городах [35] за счет планировки, застройки, асфальтирования, озеленения, оврагоукрепительных работ и т.п.

Боковая эрозия в пределах Москвы имеет весьма ограниченное распространение, поскольку берега основных рек в большинстве своем защищены от размыва, а мелкие реки либо канализированы, либо засыпаны. Лишь в отдельных местах (например, в Филевском парке, Серебряном Бору и др.) отмечается размывание берегов.

2. Механическая суффозия проявляется в неоднородных по гранулометрическому составу грунтах с размером пор, достаточным для передвижения тонкодисперсных частиц, при значительном градиенте напора фильтративного потока и наличии условий для разгрузки. Искусственная механическая суффозия обусловлена техногенным нарушением гидродинамического режима.

В Москве механическая суффозия проявляется при вскрытии водоносных горизонтов различными выемками, при откачках подземных вод непосредственно из подземных выработок, при водоотливе из котлованов, карьеров и других открытых выемок, при откачках подземных вод из скважин и иглофильтров, при дренировании подземных вод стационарными дренажными системами, при дренировании подземных вод глубокими депрессионными воронками [35].

Необходимо иметь в виду, что суффозия проявляется и в насыпных грунтах. Часто она наблюдается вдоль трасс подземных коммуникаций, вызывая образование воронок на поверхности земли. Этот процесс может также начаться и в засыпанных больших оврагах, поскольку они продолжают служить, правда в меньшей мере, естественными дренами.

Строительство на сравнительно крутых склонах, в частности создание котлованов и длительные работы по нулевому циклу, может способствовать активизации суффозии как в смысле создания условий для разгрузки, так и в смысле формирования больших напорных градиентов фильтративного потока из-за беспрепятственного поступления в толщу атмосферных осадков.

Таким образом, хозяйственное освоение территорий влечет за собой в одних случаях ослабление суффозии, а в других случаях ее появления или активизацию. По мнению Ф.В.Котлова, в городе в целом происходит усиление этого процесса.

3. Оползневые процессы и явления в Москве развиты достаточно широко и наблюдаются на склонах долины р.Москвы и ее притоков, а также по бортам оврагов. Ф.В.Котлов [35] отмечает определенную закономерность их распространения и указывает на ряд причин, обуславливающих их возникновение: 1) наличие высокого подмываемого берега реки (излучины р.Москвы у сел Троицкое-Лыково, Хорошево, Коломенское, на участке Кунцевского парка, на Ленинских горах и др.); 2) наличие в геологи-

ческом разрезе пластичных глин юрского возраста (залегających в основании склона и часто служащих плоскостью скольжения глубоких оползней) и четвертичных глинистых пород (способствующих образованию неглубоких оползней); 3) наличие водоносных горизонтов, которые обуславливают смачивание поверхности глинистых пород в разрезе, результатом чего является снижение сил трения и сцепления, увеличение гидродинамического давления в сторону реки и возникновение механической суффозии.

В пределах города встречаются оползни различного генезиса, возраста, формы и величины: пластического типа, суффозионные, оползни-оплывины, оползни-обвалы и др. Наиболее широко распространены современные оползни, относительно небольшие по объему смещенных земляных масс, захватывающие поверхностные отложения четвертичного возраста. Основная роль в образовании современных оползней в Москве принадлежит природным формам. Однако хозяйственная деятельность, как правило, способствует активизации развития оползней. Из техногенных причин, вызывающих возникновение оползней, можно назвать [37]: 1) подрезки склонов и устройство различных выемок; 2) дополнительное увлажнение пород за счет утечек из подземных коммуникаций, создания искусственных водоемов; 3) увеличение нагрузок на склоны из-за застройки; 4) уничтожение растительного покрова; 5) динамические нагрузки (удары, вибрация, транспорт и др.); 6) разрыхление пород в связи с кесонной проходкой подземных выработок метрополитена; 7) дноуглубительные работы в районе оползневых склонов.

4. Возникновению карстово-суффозионных процессов на территории Москвы способствуют определенные геологические и гидрогеологические предпосылки, а именно, наличие в разрезе карстующихся водопроницаемых пород, движение подземных вод, выносящих продукты выщелачивания и размыва, растворяющая способность поверхностных и подземных вод. В Москве развит погребенный (покрытый) разновозрастный карст, приуроченный к карбонатным (известнякам, доломитам) породам каменноугольного возраста. С ним сочетается суффозионный процесс, получивший распространение среди песчано-глинистых пород мезозойско-кайнозойской толщи, перекрывающей карстующиеся породы карбона.

Интенсивное развитие современного карстового процесса на территории Москвы связано с изменением гидродинамической обстановки и проявляется в основном в механическом разрушении интенсивно закарстованных на ранних этапах геологической истории пород и в образовании карстово-суффозионных форм на поверхности [42]. Карстопоявления выражаются в сильной разрушенности карбонатных пород и образовании различных карстовых форм как в самих карстующихся породах (кавернозность, закарстованные трещины, полости и др.), так и в перекрывающих песчано-глинистых отложениях (карстово-суффозионные воронки, понижения, колодцы и др.). Они приурочены главным образом к долин-

ным участкам территории города, к местам полного размыва регионального юрского водоупора или его сокращенной мощности.

Активизацию карстово-суффозионного процесса, которая наблюдается на территории Москвы в последние годы, вызывает, по мнению Ф.В.Котлова [37], ряд факторов: 1) интенсивный и длительный водоотбор подземных вод, приведший к формированию депрессионной воронки огромных размеров; 2) снижение пьезометрических уровней водоносных горизонтов каменноугольных отложений (суммарная сработка напоров 190 м); 3) возникновение вертикальной фильтрации благодаря разности в падении напоров и появление в результате этого безводных зон в средневерхнекаменноугольных отложениях; 4) местное понижение уровня грунтовых вод на 5-32 м; 5) колебания уровней подземных вод, обусловленные откачками; 6) утечки вод из подземных коммуникаций; 7) повышение агрессивности подземных вод (за счет загрязнения) и увеличение в связи с этим их растворяющей способности; 8) суффозионный вынос продуктов кольматации из карстовых пустот в результате активизации гидродинамических процессов; 9) статические и динамические нагрузки, связанные с техногенным воздействием.

В.Н.Коженикова [42] добавляет еще одну, на наш взгляд, очень важную причину активизации описываемых процессов - подработку территории подземными и поверхностными выработками.

Техногенная природа перечисленных факторов интенсификации развития современных карстово-суффозионных процессов позволила Ф.В.Котлову выделить их в особую группу и назвать антропогенным карстом [37]. Именно этот карст и получил наиболее широкое распространение на территории Москвы.

В результате изучения карстово-суффозионных явлений, зафиксированных в городе, анализа инженерно-геологических предпосылок антропогенного карста была проведена качественная оценка территории по степени карстовой опасности [13]. На основе выполненной инженерно-геологической типизации строения геологической среды были выделены территории с установленной активизацией карстово-суффозионных процессов (типы строения I0, II, I2, I4), возможной (тип строения I3) и площади, на которых возникновение и развитие карстово-суффозионных процессов маловероятно.

5. Природные условия Москвы в целом способствуют заболачиванию, но строительное освоение территории приводит к его исчезновению. Так, в результате застройки и благоустройства территории практически все болота, во множестве отмечаемые здесь ранее, прекратили существование. Этому способствовали как целевая их мелиорация, так и другие мероприятия, сопутствующие освоению территории города: регулирование паводков, повышение отметок пойм, устройство высоких набережных, канализирование и засыпка рек и ручьев, вертикальная планировка, регулирование стока атмосферных осадков.

6. Морозное пучение развито достаточно широко, происходит за счет объемных деформаций глинистых, пылеватых и мелкопесчаных грунтов при их замерзании (объем грунта увеличивается на 10–20 %) и проявляется главным образом в виде деформаций асфальтового покрытия, а также зданий и сооружений.

Большое влияние на глубину промерзания грунтов культурного слоя (в частности, в Москве, где их объем и мощности наибольшие) оказывает их состав. Так, включения органики с пониженной теплопроводностью значительно уменьшают глубину промерзания [35]. Понижение уровня грунтовых вод, удаление снежного покрова и другие процессы увеличивают глубину промерзания. Однако неглубокое залегание грунтовых вод способствует подтоку влаги к фронту промерзания, что активизирует процесс пучения. Поэтому наблюдаемое в настоящее время подтопление в пределах города способствует усилению морозного пучения. О проявлении в Москве морозного пучения свидетельствуют результаты повторных нивелировок реперов городской нивелирной сети, а также деформации различных зданий и сооружений. В особо благоприятных условиях подъем реперов достигал 1000 мм [70].

7. Существующее в Москве единственное водохранилище, Химкинское, в свое время оказало большое влияние на режим грунтовых вод и существенно определяет микроклимат сейчас. Левый берег его почти повсеместно занят различными объектами (порт, причалы и т.п.) и укреплен. На правом берегу в отдельных местах наблюдается небольшая его переработка.

8. Оседание поверхности земли в пределах Москвы связано как с естественными причинами, так и с техногенными. Природный фактор обусловлен современными вертикальными движениями земной коры. Имеющиеся материалы по скорости современных вертикальных смещений центра европейской части СССР свидетельствуют в целом об устойчивости рассматриваемой территории (западнее города территория испытывает слабое поднятия со скоростью 0–2 мм/год, восточнее – устойчивые опускания с той же скоростью).

Из техногенных причин оседания можно выделить три основные: 1) статические и динамические нагрузки от сооружений (промышленных и жилых) и транспорта; 2) строительство подземных сооружений (метро, коллекторы и др.); 3) образование депрессионных воронок в результате эксплуатации безнапорных и напорных водоносных горизонтов.

Осадки под действием статических нагрузок происходят в результате уплотнения грунтов основания около каждого здания, где образуются осадочные воронки глубиной от долей до 100 см. Край воронки выходит за контуры здания и зависит от характера эпюры напряжений в сжимаемой толще пород, мощность которой зависит от состава, состояния, свойств пород и величины нагрузки. В условиях плотной застройки, характерной для центральной части Москвы, осадочные воронки смыкаются. Та-

ким образом возникает достаточно обширное понижение поверхности. Наибольшие осадки наблюдаются при возведении сооружений на сильно сжимаемых грунтах (торфах, сапропелях) — порядка I—3 м (например, дамбы на трассе канала им.Москвы) [35]. В современных аллювиальных песках с прослоями супесей осадки достигали 75—80 мм, в моренных суглинках — 31—34 мм, в верхнечетвертичных аллювиальных и средне-четвертичных флювиогляциальных песках — 19—27 мм [70]. Значительные осадки наблюдаются у мостов через р.Москву: Хорошевского, Крымского, Москворецкого и Большого Краснохолмского, где их максимальные величины достигают 149 мм [35]. Наибольшую сжимаемость под мостовыми опорами обнаруживают юрские глины и четвертичные отложения.

Динамические нагрузки по-разному воздействуют на породы, в зависимости от особенностей их состава и структуры, в результате чего происходит уплотнение рыхлых недоуплотненных пород (при степени плотности менее 0,6) и нарушение структуры тиксотропных грунтов. Динамические нагрузки на грунт передаются в результате вибрации при движении транспорта, действия строительных и других ударно-вибрационных механизмов, производства различных взрывов. Результаты, полученные А.И.Снобковой [70], показали, что здания в Москве, расположенные вдоль улиц с интенсивным транспортным движением, осели в большей степени (на II—25 мм), чем здания в переулках и тупиках (7—17 мм). Разгрузка транспортного потока в центре столицы и его интенсификация на периферии, а также производство строительных работ приводят к возрастанию роли динамических нагрузок в оседании поверхности земли в этих районах.

Подземное строительство вызывает изменение напряженного состояния, возникновение различных деформаций в толще пород и образование мульд оседания. Их морфология и динамика формирования зависят от инженерно-геологических условий, глубины заложения и способов проходки подземных выработок. В Москве в наибольшей мере проявляются мульды оседания вдоль трасс метрополитена. Ширина их от 40 до 400 м, глубина достигает 50—80 см. Над тоннелями, пройденными в песках, величина осадок в 3—5 раз больше по сравнению с участками выработок в крепких известняках.

При искусственном водопонижении (эксплуатационных и строительных откачках) происходит снижение уровня подземных вод, падение напоров, что ведет к гидростатическому и дегидратационному уплотнению пород, в результате чего наблюдается оседание земной поверхности. Так, вследствие откачек подземных вод при строительстве метро здание гостиницы "Метрополь", возведенное на культурном слое с большим содержанием органики, в период с 1931 по 1951 г. дало осадку в 31—43 мм. Наибольшие осадки отмечаются при дренировании пластичных высокопористых юрских глин (10—40 мм за 14 лет) и четвертичных песчаных отложений (3—35 мм). Верхнекаменноугольные глины с твердой и тугопластичной

консистенцией уплотняются плохо (5–7 мм). Минимальные осадки (0,2–3 мм) свойственны карбонатным толщам верхне- и среднечетвертичного возраста.

Отдельно необходимо упомянуть об оседании поверхности земли над засыпанными оврагами, ручьями, речками. Это явление может наблюдаться повсеместно, поскольку грунты, заполнившие отрицательную форму в рельефе, находятся в разуплотненном состоянии.

Анализ деформаций земной поверхности Москвы, выполненный по результатам нивелирования I класса в период с 1957 по 1978 г., дал возможность охарактеризовать оседание территории в разных районах города (за 20 лет). Южная часть территории Москвы в пределах Теплостанской возвышенности характеризуется незначительными положительными смещениями (0–5 мм), что свидетельствует о стабильности этого района. В границах города выделяются два участка с величинами оседания, превышающими 20 мм: центр города и его северо-западная часть в районе Хорошевского шоссе. Для расчетов были использованы данные по оседанию поверхности земли в Москве за 20 лет в следующих градациях, мм: 0; 0–20; 20–50; > 50.

9. Для территории Москвы, как и для многих городов, характерен процесс повышения поверхности грунтовых вод, вплоть до подтопления жилых зданий и промышленных объектов. Причинами, вызывающими этот процесс, являются нарушения режима, условий питания и дренирования грунтовых вод в процессе строительства и эксплуатации городских сооружений; увеличение инфильтрационного питания подземных вод за счет утечек воды из коммуникационных сетей; отсутствие необходимых дренажей, поливы улиц и скверов; нарушения баланса инфильтрации и испарения.

Появление верховодки на территории Москвы отмечается в районе моренного плато (области А и Б), в пределах окружной железной дороги, в районе Краснопресненской набережной на участке поймы р. Москвы (в техногенных образованиях), на отдельных участках флювиогляциальной равнины в районе Химкинского водохранилища, жилого района Марьино и др. На территории ряда районов Москвы процесс подтопления вызывает ухудшение санитарно-гигиенических показателей (в частности, массовое развитие комаров, грибка на ограждающих поверхностях и т.п.).

Гидрогеологическая характеристика территории

Роль воды в жизнедеятельности городской агломерации трудно переоценить. Вода – универсальный продукт в техногенезе, поэтому воздействие промышленного и социального освоения территории на состояние гидросферы и "обратная связь" столь значимы по масштабам и опутимы по последствиям.

Изменения гидрогеологических условий на территории градостроительных комплексов определяются нарушениями естественного водного баланса вследствие усиленной эксплуатации подземных вод (создание водозаборов, водопонижений при подземном строительстве), с одной

стороны, и возникновения факторов дополнительного питания грунтовых вод (утечки из водопроводной, канализационной и теплофикационной сетей, инфильтрация поливных вод в пределах газонов, скверов и парков, сброс сточных вод, отсутствие нормальных условий питания в результате асфальтирования улиц и т.п.) — с другой. В результате наиболее существенные изменения состояния гидросферы выражаются соответственно в формировании значительных депрессионных воронок, развитие которых вызывает инфильтрацию грунтовых вод в эксплуатируемые горизонты, что в городских условиях, как правило, сопровождается ухудшением качества вод и увеличением их агрессивности (причина развития или интенсификации карста и провальных (суффозионных) явлений); в повышении уровня грунтовых вод и в развитии процессов подтопления территории, последствием чего могут быть снижение несущей способности грунтов оснований зданий и сооружений, деформации поверхности земли и оседаний, вторичное засоление почв и деградация растительности на территориях парков и скверов.

Рассмотрим изменение гидрогеологической ситуации на территории Московского градопромышленного комплекса с точки зрения обоснования выбора гидрогеологических матричных показателей. За почти 100-летнюю историю изучения пресных подземных вод на территории Москвы (первая характеристика подземных вод Москвы дана в 1879 и 1882 гг. П.Петунниковым) вопросам водоснабжения, ресурсов, режима грунтовых и напорных вод посвящено огромное количество работ. Однако изучение степени и характера изменения уровня, температурного и химического режимов подземных вод под техногенным влиянием и тем более исследование взаимодействия в системе "техногенез-гидросфера-инженерные сооружения" нельзя считать достаточными.

Ретроспективный анализ показывает, что в пределах территории, занимаемой в настоящее время городом, комплекс взаимосвязанных горизонтов грунтовых и напорных вод, имевших повсюду естественное залегание, был повсеместно развит в толще четвертичных отложений. Глубина уровня грунтовых вод изменялась от 0 до 17 м. Наиболее близко к поверхности земли залегали грунтовые воды на пойменной террасе р.Москвы и ее притоков, а также на заболоченных участках, весьма распространенных на поверхностях надпойменных террас и моренной равнины.

Водоносный комплекс аллювиальных отложений в пределах первой и второй надпойменных террас — первый от поверхности. В основании его залегают моренные глины и суглинки, красные глины, местами непосредственно каменноугольные известняки, что обуславливает наибольшую водообильность аллювия за счет притока вод из пород карбона. Глубина залегания вод составляла 3-8 м вплоть до заболоченности в западинах (по Б.М.Даньшину [78]).

К водоносному горизонту третьей надпойменной террасы, развитому на большой площади в долине р.Москвы и приуроченному к аллювиальным

пескам, относились многочисленные обильные родники. По Б.М.Даньшину [78], за счет вод этого горизонта осуществлялось питание рек Химки, Ходынки, Черной и ручьев Щукинского, Хорошевского, Студеного оврага и др. Глубина залегания грунтовых вод в среднем достигла 10-15 м от поверхности земли. Дренажировались эти воды р.Москвой и нижним течением р.Ходынки. Сеть древних погребенных долин, врезанных в нижележащие каменноугольные породы, повышала вероятность гидравлической связи грунтовых вод четвертичных отложений с напорными водами карбона.

Преимущественное питание водоносного комплекса за счет инфильтрации атмосферных осадков повышает значение этого водоносного комплекса с точки зрения его роли в процессах загрязнения нижележащих водоносных горизонтов.

Водоносные горизонты четвертичных отложений разделяются моренными суглинками московской и днепровской морен мощностью 5-10 м. Подстилаются четвертичные отложения слабопроницаемой толщей верхнеюрского возраста мощностью до 5-20 м - плотными, местами опесчаненными глинами, содержащими линзообразные прослойки песков.

Воды мезозойских отложений (нижнемеловых и верхнеюрских), спорадически распространенных на левобережье р.Москвы, приурочены к аптнеокомскому водоносному горизонту, представленному переслаивающейся толщей песка и глин и волжскими песками с прослоями глин. Возможность подтока вод в юрский водоносный горизонт из нижележащих карбоновых горизонтов практически исключалась в связи с наличием выдержанного подстилающего водоупорного слоя - глинистой толщи кимериджа-келовея. Питание верхнеюрского водоносного горизонта (волжского) происходило за счет инфильтрации атмосферных осадков и четвертичных водоносных отложений. Дренажировался этот водоносный горизонт долиной р.Химки, где, по Б.М.Даньшину, были мощные нисходящие источники.

Литологический состав каменноугольной толщи (хорошо проницаемые трещиноватые известняки и доломиты) и падение пластов к оси Московской синеклизы обусловили формирование водонапорной системы, называемой Московским артезианским бассейном. Территория г.Москвы принадлежит этому бассейну [9].

Верхнекаменноугольный водоносный горизонт (касимовский) приурочен к толще гжельских известняков и доломитов с прослоями пестроцветных глин и мергелей. Воды этого горизонта обладали напором, величина которого определялась рельефом или имела свободную поверхность. В пределах долин напор вод верхнекаменноугольного горизонта превышал меженьный уровень речных вод на 0,5-1 м. На участках, где кровлей этого горизонта являются одновозрастные или юрские глины, напорные уровни верхнекаменноугольных вод были во всех случаях ниже уровня грунтовых вод. Совпадение уровней тех и других наблюдалось в доледниковых ложбинах [10]. Питание верхнекаменноугольного водоносного

горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков в районах залегания верхнекаменноугольных толщ непосредственно под четвертичными водоносными отложениями. Отмечается гидравлическая связь горизонта с грунтовыми водами и напорными водами среднего карбона. Гидродинамические условия касимовского водоносного горизонта находятся в настоящее время под влиянием крупных водозаборов, искажающих естественный характер.

Водоносный комплекс среднекаменноугольных отложений приурочен к трещиноватым известнякам, доломитам, доломитизированным известнякам и мергелям мячковского, подольского и каширского горизонтов общей мощностью до 110 м. Мячковско-подольский водоносный горизонт мощностью до 70 м отделен от каширского слабопроницаемой толщей ростиславльских глин мощностью до 8 м. Питание комплекса осуществляется за счет вышележащих водоносных горизонтов через окна глинистых водупоров благодаря наличию древних погребенных долин, врезанных в породы среднего карбона, и при участии напорных вод нижнего карбона.

Воды среднего карбона обладали напором, уровни которого определялись геоморфологическим строением территории города: повышенные — на северо-северо-западе г. Москвы, пониженные — в пределах долины р. Москвы, от устья р. Яузы вниз по течению на протяжении 1,5 км (погребенная долина доярского размыва и слияние долин рек Москвы и Яузы).

Толща слабопроницаемых верейских глин мощностью 12–17 м является водупором, разделяющим средне- и нижнекаменноугольные водоносные комплексы.

Водоносный комплекс нижнекаменноугольных отложений общей мощностью 70 м состоит из трех водоносных горизонтов: протвинского, серпуховского и окского, разделенных невыдержанными по площади слабопроницаемыми маломощными глинистыми прослоями. Вмещающими породами являются известняки с прослоями доломитов, массивные, трещиноватые, нередко закарстованные. Артезианский горизонт обладал значительным напором, превышающим напоры вод отложений среднего карбона.

В результате длительной инженерно-хозяйственной деятельности с начала XIX в. на территории Москвы исчезло более 100 рек, ручьев и оврагов и изменилась гидрогеологическая обстановка, что, по Ф. В. Котлову, выразилось в изменении условий питания, стока, разгрузки вод и, как следствие, в изменении уровней, напоров, скорости движения, химического состава и температуры подземных вод. В результате начавшегося более 100 лет назад отбора вод из каменноугольных водоносных горизонтов произошло образование депрессионных воронок. В течение 1901–1930 гг. сработка напора горизонта среднего карбона происходила довольно медленно и депрессионная воронка располагалась на сравнительно высоких отметках. В дальнейшем формирование ее интенсифицировалось по площади и глубине. Центр был приурочен к долине

р.Москвы ниже впадения р.Яузы. Многолетние откачки воды сформировали в пьезометрической поверхности нижнего карбона глубокую общемосковскую депрессионную воронку с более значительным снижением напоров (на 13–16 м) по сравнению со средним карбоном. С 1901 по 1958 г. напорные уровни вод нижнего карбона по всей территории депрессионной воронки понизились на 45 м (в среднем), а среднего – на 30 м. В результате коренным образом изменились соотношения напоров, характер и направленность гидродинамических взаимосвязей вод среднего и нижнего карбона вплоть до безнапорного режима среднекаменноугольного комплекса на периферийных участках депрессионных воронок.

В настоящее время основная депрессионная воронка, сформированная активной эксплуатацией водозаборами протвинско–окского водоносного горизонта, достигает глубины 100 м. К границе выклинивания водоносного горизонта она выполаживается до 5–10 м. По данным В.С.Плотникова [24], в районе Москвы в связи с сокращением водоотбора в последнее время наблюдаются стабилизация и даже незначительное повышение уровня подземных вод.

Развитие депрессионных воронок сопровождалось увеличением уклонов и скоростей движения подземных вод в породах карбона. Следствием этого явилось изменение гидрохимического состава подземных вод и состояния равновесия в подземной гидросфере, имеющее непосредственную связь с процессами карстообразования.

До 1930 г., по данным Т.К.Федоровой [78], в пределах всех изученных ею опорных пунктов на территории Москвы воды среднего и нижнего карбона находились в состоянии пересыщения по отношению к кальциту и доломиту. В более поздний период (1958–1963 гг.) преобладала тенденция к снижению пересыщения вод во времени. Снижение гидродинамических давлений водоносных горизонтов в результате усиленной эксплуатации создавало условия для формирования ненасыщенных по отношению к доломиту и кальциту вод. Процесс растворения известняков и доломитов карбона продолжается и в настоящее время. Это приводит к образованию карстовых пустот в толще известняков и воронок на поверхности земли, что, в свою очередь, является причиной деформаций зданий (А.Н.Огильви установлено около деформируемого здания поглощение грунтовых вод четвертичных отложений трещинно–карстовым верхнекаменноугольным горизонтом через окна в водоупорных породах кровли и по трещиноватым зонам). Скорость процесса растворения карстующихся пород (как наиболее медленно протекающий процесс) определяет и скорость карстово–суффозионного процесса [78].

Карстово–суффозионные процессы, проявляющиеся на поверхности земли провальными воронками, активизируются на территории Москвы под влиянием интенсивного водоотбора и следующих формируемых этим водоотбором факторов: увеличения скоростей фильтрации и интенсивности изменения величины гидростатического давления вследствие снижением

пьезометрических уровней, увеличения температуры подземных вод, изменения физико-химического равновесного состояния. В ряде случаев [24] в качестве доминирующего фактора в активизации карстово-суффозионных процессов называется утечка утилизированных вод ТЭЦ в карбонатные породы.

Наиболее интенсивным является выщелачивание карбонатных пород в зоне аэрации под влиянием инфильтрации талых и дождевых вод и вод поверхностного стока, наиболее агрессивных вследствие своей слабой минерализации и ненасыщенности по отношению к карбонатам. Многочисленные примеры [78] свидетельствуют об активизации карстовых явлений в период весенней инфильтрации, т.е. в период усиленного просачивания талых и дождевых вод. Мощность зоны аэрации в толще каменноугольных отложений на территории Москвы достигает 70-110 м и имеет тенденцию к постоянному и постепенному увеличению.

Для более глубоких горизонтов в целом характерна обстановка химического и метастабильного равновесия подземных вод с карбонатными породами. Однако эта обстановка нарушается на участках древнего карста за счет поступления агрессивных вод по карстовым кавернам и каналам вертикального и горизонтального направления, являющихся следствием изменения положения базисов эрозии и уровней карстообразования в геологической истории, а также повышенной трещиноватости пород. Кроме того, поступление органических веществ с грунтовыми водами более загрязненного четвертичного водоносного комплекса в верхне- и среднекаменноугольные водоносные горизонты стимулирует развитие гидробионтов на участках питания, что, в свою очередь, приводит к повышению содержания углекислоты биохимического генезиса в подземных водах и сдвигу карбонатного равновесия в сторону растворения карбонатов и, следовательно, повышению содержания HCO_3^- , Ca^{2+} , величины общей жесткости и понижению pH [6]. Наибольшее число видов гидробионтов приурочено к зоне взаимодействия напорных вод с грунтовыми и поверхностными, что позволяет, учитывая корреляцию больших концентраций углекислоты с разнообразием гидробиоценозов, считать последние показателями загрязнения подземных вод.

Данных о химическом составе подземных вод в ненарушенных условиях не существует. Уже в 1905 г. С.С.Орлов отмечал загрязнение грунтовых вод, степень которого определялась давностью застройки местности и максимумом в центре города. В 1916 г. А.П.Иванов характеризовал грунтовые воды как смесь "культурно-технических растворов с атмосферной водой, прошедшей через глубоко загрязненную толщу поверхностных отложений" [78].

Москва, как любой современный город с многоотраслевым хозяйством и многогранной инженерно-хозяйственной деятельностью, представляет собой специфический объект гидрогеологических и гидрогеохимических исследований. Химический состав подземных вод, состояние физико-хи-

мических равновесий в нарушенных условиях и причинно-следственные связи этих факторов с процессами на территории города достаточно подробно рассмотрены в ряде работ [10, 24, 25, 78]. В целом расчеты физико-химических равновесий, выполненные Т.К.Федоровой для вод среднего и нижнего карбона в разных зонах гидродинамических давлений в направлении с северо-запада на юго-восток, показали изменение химического состава и состояния равновесий в подземной гидросфере по площади, в вертикальном разрезе и во времени.

Установлено существование двух типов изменения состояний равновесий карбонатно-кальциевого и карбонатно-кальциево-магниевого с глубиной. Для первого типа характерно возрастание насыщенности подземных вод по отношению к карбонатным породам, т.е. неравновесные воды сменяются равновесными - насыщенными и пересыщенными. Этот тип преобладает в пределах северо-западного района и является закономерным процессом изменения равновесий в системе "подземные воды-горные породы-растворенная углекислота", происходящим в ходе медленного просачивания и движения вод. Второй тип отличается уменьшением с глубиной насыщенности подземных вод растворенными компонентами карбонатных отложений. Этот тип связан с характером циркуляции подземных вод в условиях карстового процесса.

На участках промышленных предприятий и жилых массивов в зону аэрации могут поступать сточные и загрязненные воды и воды различных утечек из водонесущих коммуникаций и сооружений. На участках постоянных утечек и сбросов их влияние на растворение карстующихся пород весьма ощутимо.

Медико-гигиенический аспект загрязнения изложен в работах сотрудников ИМГРЭ. Следует сказать, что воду они рассматривают опосредованно как транслирующую среду, а в качестве депонирующей среды анализируют почвы и некоторые органические составляющие человека (волосы, моча). Однако загрязнение, кроме медико-гигиенической опасности и изменения агрессивных свойств воды, является еще и фактором, влияющим на структуру пород и изменения их физико-химических характеристик, небезразличных для инженерной деятельности. Известно, какое внимание уделяется фильтрационным свойствам и составу глинистых отложений, являющихся водоупорами, при оценке критериев защищенности водоносных горизонтов от проникновения загрязняющих веществ техногенного происхождения.

Техногенные факторы по преобладающему типу влияния на грунты делятся на несколько групп; а) механические; б) физические (тепловое, электромагнитное, радиационное и др.); в) физико-химические (смещение адсорбционно-ионных равновесий); г) химические и биохимические (изменения в составе твердой фазы). Последствиями таких воздействий являются изменения агрегатных состояний - вязкости, проницаемости, влажности, плотности, т.е. изменения прочностных свойств.

Установлено, что проницаемость песчано-глинистых водовмещающих отложений и глинистых водоупоров возрастает для минерализованных вод по отношению к пресным водам, что объясняется возрастанием пористости под влиянием соленых вод. Известно, что при разуплотнении глин скорость фильтрации увеличивается, при цементации снижается.

Под влиянием городской агломерации Москвы значительно изменились строение геотемпературного поля и его тепловой режим. Максимальный рост температуры (на 14° и более) отмечен для четвертично-мезозойского водоносного комплекса, а площадь аномалии почти в 1,5 раза превышает территорию Москвы [58]. Суммарная суточная величина утечек из коммуникаций достигает сотен тысяч кубических метров. Температурная аномалия приводит к изменению содержания газовой составляющей подземных вод, накладывает отпечаток на процесс физико-химического преобразования пород, на развитие микрофлоры и микрофауны, на изменение фильтрационных свойств глинистых пород.

Краткое изложение основных факторов, определяющих принципиальную гидрогеологическую обстановку на территории Москвы, показывает, что для прогнозирования экологической ситуации и оценки экономического ущерба от проявления негативных последствий нужен учет значительно-го количества факторов.

На первом этапе такой оценки рассматривались следующие показатели (данные НИИ Генплана г.Москвы):

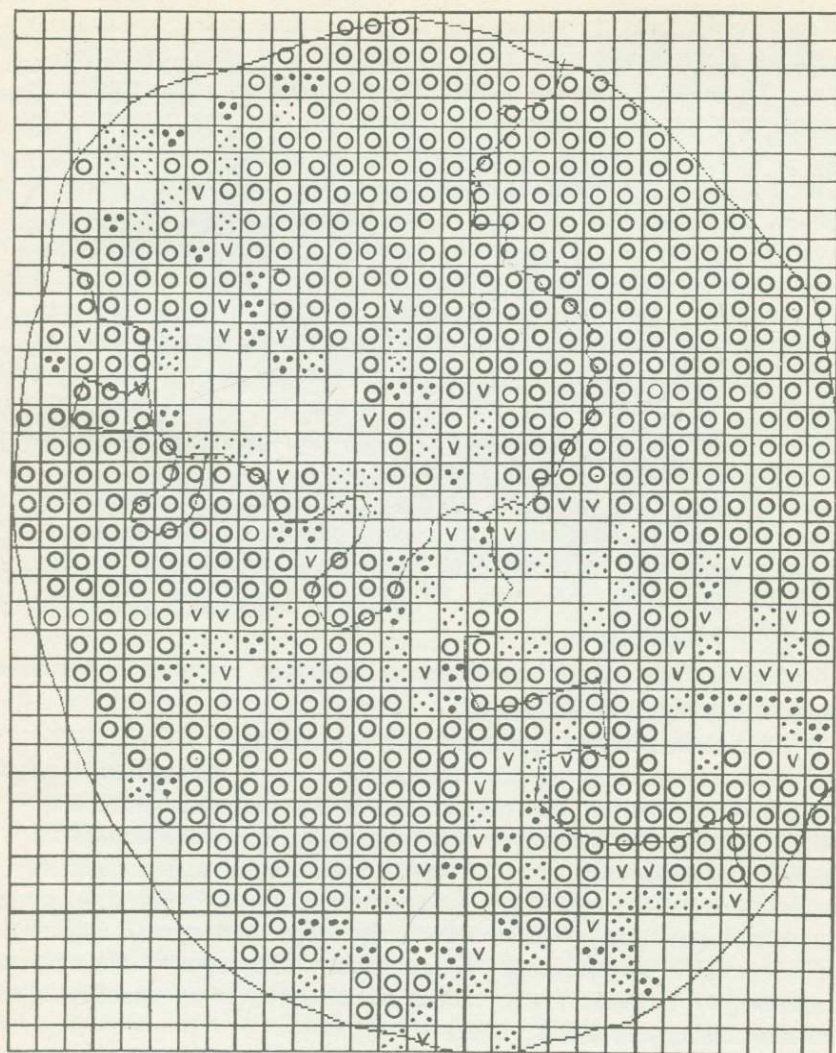
1. Глубина залегания грунтовых вод в градациях, м: 0-5; 5-10; >10; отдельно выделена глубина залегания < 2 м - глубина ведения подвального хозяйства. При глубине залегания подземных вод < 5 м (рис. 4) территории считаются подтопленными на глубине заложения фундаментов, а при глубине > 5 м (5-7 м) подземные воды несколько снижают несущую способность грунтов в основании сооружений. Грунтовые воды, залегающие ниже 7-10 м, на оценку территории применительно к строительству (промышленному, гражданскому и дорожному) существенно не влияют [69]. Однако для проходки линий метро имеют значение уровни залегания подземных вод и >10 м.

2. Наличие и развитие на конкретной площади (%) депрессионных воронок в основных водоносных горизонтах: верхнекаменноугольном, среднекаменноугольном, нижнекаменноугольном и зоны полной сработки напора основного мячковско-подольского водоносного горизонта.

3. Степень агрессивности грунтовых вод (по В.Н.Дубровину) по содержанию SO_4^{2-} , CO_2 св, pH (обобщенный показатель) в градациях: неагрессивные, умеренно агрессивные, агрессивные.

В дальнейшем представляется целесообразным расширить список показателей:

1. Ввести в матрицу ранжированный показатель температуры грунтовых вод. Локализация максимальных значений этого показателя может сви-



□ 1 ■ 2 ■ 3 ▽ 4 ○ 5

Р и с. 4. Схема распространения участков с глубиной уровня грунтовых вод < 5 м. Составила Е.А.Киселева

Площадь распространения участков в пределах квадрата, %: 1 - 0; 2 - 0-25; 3 - 25-50; 4 - 50-75; 5 - > 75

детельствовать с большой долей вероятности о местах утечек из теплофикационных сетей, о повышении агрессивности вод и проницаемости глинистых водоупоров.

2. Оценивать следующие виды агрессивности подземных вод по отношению к бетону [62]: выщелачивающую (по содержанию $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ в пересчете на ионы HCO_3^- , мг-экв/л), углекислую ($\text{CO}_{2\text{св}}$, мг/л), магне-

зиальную (Mg^{2+} , мг/л), щелочную (Na^+ и K^+ , мг/л), сульфатную (SO_4^{2-} , мг/л), аммонийную (NH_4^+ , мг/л).

3. На основе существующих компьютерных методов расчета (по программе МІГ-5 Г.А.Соломина) оценивать степени насыщения вод по отношению к карбонатам, сульфатам и гидроокислам в грациях: недонасыщенные воды; воды, близкие к состоянию насыщения; выпадение вторичных минералов из раствора обязательно, что позволит прогнозировать состояние термодинамического равновесия в системе "вода-порода" и процессы, вызванные сдвигом этого равновесия в сторону твердой или жидкой фазы, в том числе процессы растворения и карстообразования, осаждения и коагуляции полостей, самоочистки вод и т.д.

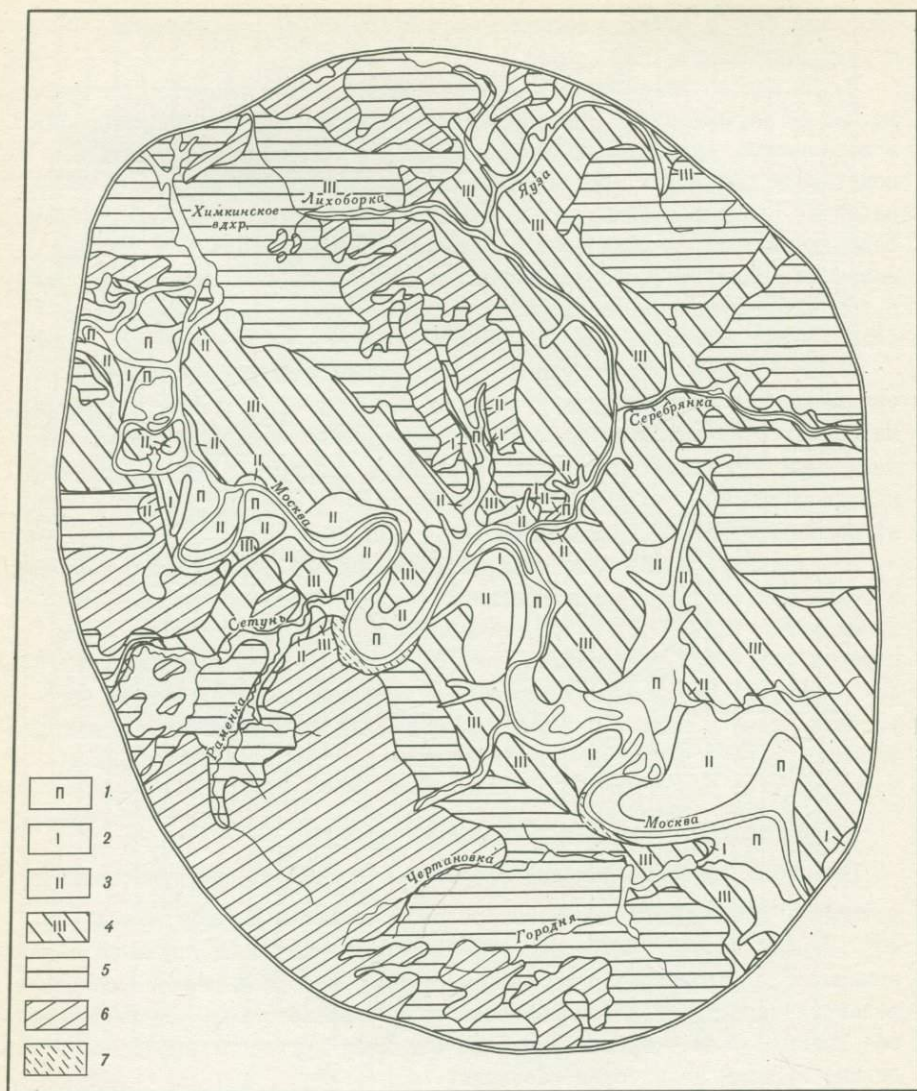
4. Для оценки степени вероятности и опасности техногенного загрязнения вод использовать расчетную величину C_{max} (также по программе МІГ-5) – максимально возможной, термодинамически допустимой концентрации токсичных компонентов в водах в грациях: а) загрязнение маловероятно ($C_{max} < ПДК$), б) загрязнение возможно ($C_{max} \leq ПДК$), в) опасность загрязнения велика ($C_{max} \geq ПДК$).

5. Учитывать показатели степени защищенности водоносных горизонтов в грациях, разработанных ВСЕГИНГЕО: 1) отношение мощностей слабопроницаемых ($K \leq 0,01$ м/сут) отложений (m_1) к мощности всей зоны аэрации (m) – три грации: $m_1 / m \geq 0,5$, $m \geq 20$ м; $m_1 / m < 0,5$, $m \geq 10$ м; $m < 10$ м); 2) для напорных горизонтов – мощность и сплошность водупорных слоев в толще, перекрывающей первый от поверхности и эксплуатируемый водоносный горизонт, соотношения уровней напорных (Н) и грунтовых (h) вод.

Оценка геоморфологических условий территории

Геоморфологические условия территории Москвы охарактеризованы показателями, помогающими оценить городской рельеф в двух аспектах [23, 45]. Первый аспект – историко-генетический – касается изучения закономерностей формирования рельефа в связи с историей геологического развития территории и основывается на последовательном изучении рельефа поверхностей, образованных под влиянием природных процессов в различные периоды ее истории развития.

Для территории города поквратно была дана характеристика историко-генетической поверхности, занимающей большую площадь квадрата. Выделено шесть типов поверхностей: моренная равнина, флювиогляциальная равнина, третья надпойменная терраса, вторая и первая (вместе, так как имеют небольшие по площади выделы) террасы, пойма, поверхности крутых склонов, долины малых рек (рис. 5). Поверхности крутых склонов (крутизной более 12°) на территории Москвы занимают небольшие площади и приурочены в основном к долинам рек Москвы, Яузы, Сетуни, однако они весьма неустойчивы к техногенному воздействию и



Р и с. 5. Геоморфологическая схема г.Москвы. Составила Э.А.Лихачева
 I - пойма; 2-4 - надпойменные террасы: 2 - I, 3 - II, 4 - III; 5, 6 - равнины : 5 - флювиогляциальная, 6 - моренная; 7 - оползневые склоны

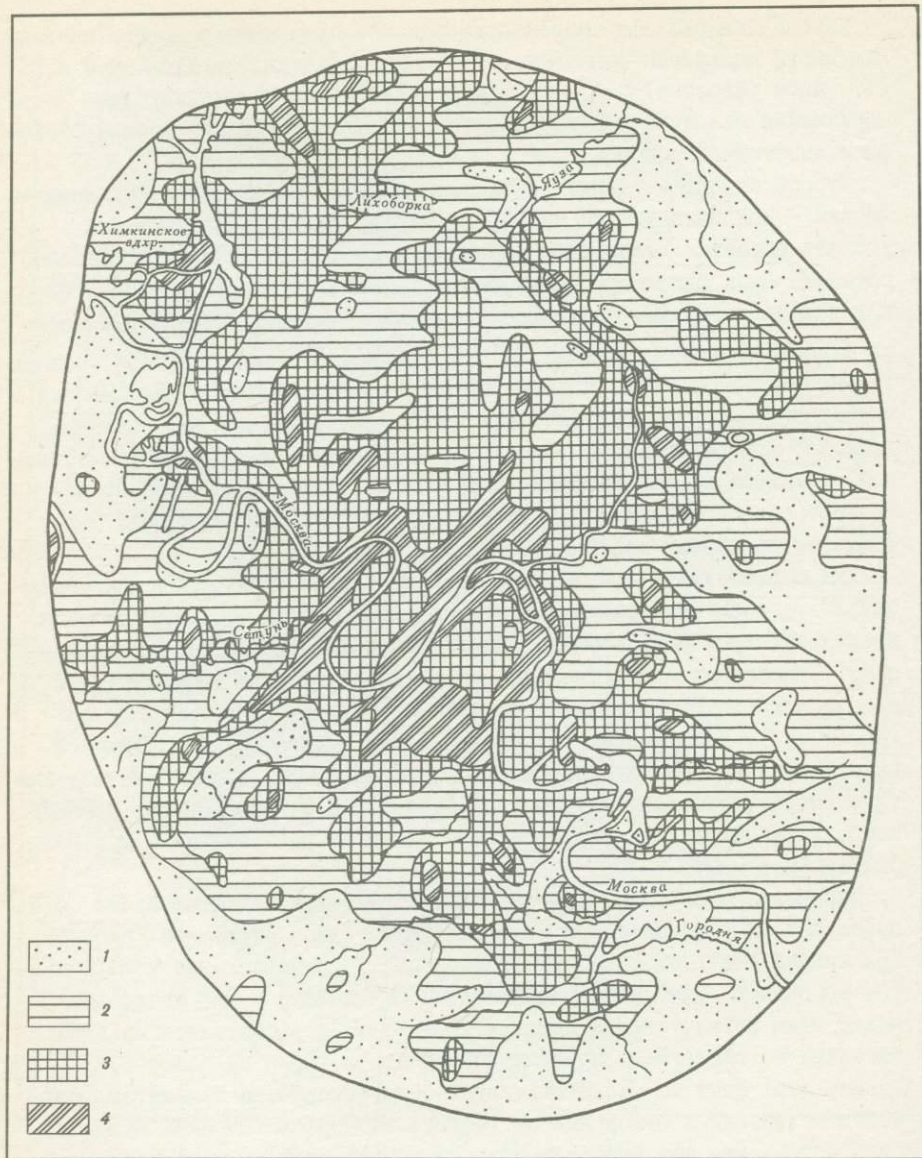
поэтому заслуживают особого внимания. Моренные и флювиогляциальные поверхности по площади, занимаемой ими на территории Москвы, приблизительно равны и в сумме занимают немногим более половины всей территории города (53-54 %). Остальная часть города принадлежит долинному комплексу р.Москвы и ее притоков.

Каждый тип рельефа охарактеризован геологическим разрезом по данным карты инженерно-геологического районирования, составленной МТЭ (47 типов разрезов) [13]. На территориях, покрытых ледниковыми четвертичными отложениями, наблюдается тесная связь между формой рельефа и литогенной основой.

Второй аспект изучения городского рельефа – инженерно-геодинамический – основывается на свойстве рельефа отражать современный уровень развития геологических и инженерно-геологических процессов, обусловленных склоновым, русловым и подземным стоком, а также техногенными факторами. Анализируя параметры рельефа и тесно увязывая их с геологическими данными, можно определить направленность, относительную интенсивность, а также границы зон распространения геологических и инженерно-геологических процессов. В частности, изучение характера пространственного изменения уклонов и расчлененности склонов, влияющих на формирование склонового и подземного стоков, позволяет судить о возможной направленности смещения грунтовых масс, движения грунтовых вод и переноса ими вещества.

Для морфометрической характеристики рельефа были взяты два показателя: абсолютная отметка и глубина расчленения. Эти показатели по предварительной обработке данных были признаны наиболее информативными. Показатель абсолютной высоты местности хорошо коррелирует с показателем литологического строения первого от поверхности слоя ($-0,8 \pm 0,75$). Коэффициент корреляции между показателями абсолютной высоты местности и глубиной расчленения $-0,5 \pm 0,6$, между показателями глубины расчленения и крутизны склонов $0,5-0,7$. Коэффициент парной корреляции между величинами глубины, густоты расчленения и крутизны склонов $0,5$ [23].

Изменения рельефа в процессе градостроительной деятельности были представлены и показателем мощности техногенных отложений (рис. 6). При предварительной обработке материалов (для вычисления коэффициентов корреляции рассматривался весь массив данных – 836 квадратов) между этим показателем и другими геолого-геоморфологическими показателями не обнаружено корреляционной связи ($K_{кор}$ не более $0,2$), однако этот факт не свидетельствует о независимости показателя мощности техногенных отложений от геолого-геоморфологических условий. Дело в том, что при морфометрической характеристике территории показатели снимались с топографических основ 1976 г., на которых отражен рельеф, уже измененный в процессе застройки. Анализ геолого-геоморфологических условий территории города показывает, что максимальные мощности и наибольшие площади, занятые техногенными отложениями, приурочены к долинному комплексу, в основном на пойме и в долинах малых рек. С этими участками связано и наибольшее число деформаций зданий и сооружений [47]. В этом же аспекте удобно и целесообразно анализировать рельеф для элементарных бассейнов. Грани-



Р и с. 6. Схема мощностей антропогенных отложений. Составили Э.А.Лихачева, И.К.Сипягина (1977 г.)

Мощности, м: 1 - < 1; 2 - 1-3; 3 - 3-6; 4 - > 6

цы их совпадают с границами формирования склонового и подземного стоков, а глубина развития геологических и инженерно-геологических процессов на их территории, как правило, определяется глубиной вреза основной дрены, соответствующей положению местного базиса эрозии.

Результаты анализа морфометрических показателей ряда крупных бассейнов существующих и уничтоженных рек территории г.Москвы представлены в табл. 7 [46].

Исходя из схемы водосборных бассейнов в матрицу были введены показатели направлений стока поверхностных вод. Указывалось наличие открытого водотока и его отсутствие, цепочка связей между квадратами указывалась до конечной водной артерии. Эта информация снималась с карты масштаба 1:50 000, являющейся уменьшенной копией карты масштаба 1:25 000. Карта элементарных водосборов была построена по следующим принципам: элементарным водосборам считается водосбор, имеющий тальвет или русло временного или постоянного водотока и не имеющий притоков; два элементарных водосбора, сливаясь, образуют водосбор второго порядка; два водосбора второго порядка, сливаясь, образуют водосбор третьего порядка и т.д. Информация о направлении стока позволяет определить, в частности, пути распространения загрязнения поверхностными водами.

Водосборный бассейн является удобной топографической единицей (геоморфологической формой) для расчета большой группы показателей. Для водосборного бассейна установлен целый ряд зависимостей между морфометрическими и гидрологическими характеристиками. Поэтому именно для водосборного бассейна проведено наибольшее число расчетов, позволяющих судить о связях между морфометрическими характеристиками рельефа и показателями интенсивности экзогенных процессов. Так, в частности, чем больше густота расчленения, тем меньше площадь элементарного водосбора. Выявлена довольно тесная связь между длиной водотока и площадью водосбора для ряда регионов ($K_{кор}$, как правило, не менее 0,6). Установлено также, что, чем больше густота расчленения, тем больше эрозионный индекс рельефа. Эрозионный индекс рельефа зависит также от уклона тальвега или от величины, характеризующей глубину расчленения рельефа. На активность эрозионных (и вообще денудационных) процессов в бассейне и на территории города в целом оказывает влияние и литологическое строение, однако прямой зависимости не наблюдается; активность эрозии связана в основном с супесчано-суглинистыми грунтами. Информация о сложном построенном речном бассейне (водосборе) позволяет проследить последовательность осадконакопления от элементарного водосбора до водосбора III или любого другого порядка. При моделировании геоморфологических процессов подобная информация облегчает распознавание (или кодирование) определенного комплекса рыхлых отложений.

Таким образом, представленная в матрицу геоморфологическая информация позволяет косвенно судить как об экзогенных, так и техногенных процессах, используется при строительстве и проектировании строительства, оценке экологической обстановки в городе и экономических затрат на эксплуатацию территории.

Т а б л и ц а 7. Морфометрические характеристики бассейнов рек Москвы

Река (порядок)	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II	I2	I3
Луза (Ш)	109,2	26,5	-	12,6	39,1	0,24	0,24	0,12	0,36	68	-	32	0,30
Луза (IV)	415,8	123,9	30,3	34,3	188,5	0,29	0,45	0,10	0,55	65	16	19	0,40
Ичка (Ш)	35,9	19,4	-	0,7	20,1	0,54	0,54	0,02	0,56	97	-	3	0,30
Чермянка (Ш)	43,1	24,7	1,3	12,8	38,8	0,57	0,60	0,30	0,90	64	3	33	0,37
Лихоборка (Ш)	64,3	18,7	6,2	4,0	28,9	0,29	0,39	0,06	0,47	65	21	14	0,50
Серебрянка (Ш)	77,3	6,6	22,8	4,2	33,6	0,09	0,38	0,06	0,44	20	68	12	0,40
Сетунь (Ш)	89,7	53,2	0,2	37,1	90,6	0,59	0,60	0,41	1,01	59	-	41	0,30
Сетунь (IV)	133,6	66,0	4,8	59,2	130,0	0,49	0,52	0,47	0,97	51	3	46	0,35
Раменка (Ш)	36,9	17,5	4,6	22,1	44,2	0,47	0,59	0,60	1,19	40	10	50	0,40
Городня (Ш)	40,2	15,2	7,0	27,6	49,8	0,38	0,55	0,69	1,24	31	14	55	0,35
Городня (IV)	103,8	44,7	16,4	67,5	129,6	0,43	0,59	0,65	1,25	35	13	52	0,37
Чертановка (Ш)	42,7	16,0	2,4	25,0	43,4	0,38	0,43	0,59	1,02	37	5	58	0,39
Ходынка (II)	19,5	-	14,0	-	14,0	-	0,72	-	0,72	-	100	-	0,45
Пресня (Ш)	15,3	-	9,9	-	9,9	-	0,66	-	0,66	-	100	-	0,55
Неглинка (Ш)	14,7	-	17,3	-	17,3	-	1,18	-	1,18	-	100	-	0,75
Граворонка (II)	93,0	11,7	13,0	11,6	36,3	0,13	0,27	0,12	0,39	32	36	32	0,44
Кровянка (II)	15,7	-	8,6	1,5	10,1	-	0,55	0,10	0,71	-	85	15	0,50
Котлованка (Ш)	18,4	10,2	3,1	4,1	17,4	0,55	0,88	0,22	0,83	59	18	23	0,45

П р и м е ч а н и е: I - площадь бассейна, км²; 2 - сумма длин действующих водотоков, км; 3 - сумма длин засыпанных водотоков, км; 4 - длина современных эрозионных врезов, км; 5 - общая длина эрозионной сети, км; 6 - густота расчленения действующими водотоками, км/км²; 7 - густота расчленения действующими и уничтоженными водотоками, км/км²; 8 - густота современных эрозионных врезов, км/км²; 9 - общая густота эрозионной сети, км/км²; 10 - действующие водотоки, % от общей эрозионной сети; II - засыпанные водотоки, % от общей длины эрозионной сети; I2 - совместные эрозионные врезы, % от общей длины эрозионной сети; I3 - коэффициент поверхностного стока.

Градостроительные особенности Москвы

Современный этап развития урбанизации в столице характеризуется большими масштабами техногенных нагрузок и существенными различиями экономических и социальных условий в разросшихся столичных районах. В связи с этим актуально выявление взаимоотношений структуры городского хозяйства с дифференцированным характером и уровнем его воздействия на окружающую среду. При этом наряду с используемым в градостроительстве критерием гигиенического благополучия важны и такие оценочные критерии, как устойчивость экосистем во времени, скорость и масштаб реакции природной среды на те или иные воздействия и т.п.

В этих целях необходимо изучать складывающиеся изменения природных компонентов, что позволит выявить определенные закономерности взаимодействия между геологической средой и градостроительными объектами, интенсивность инженерно-геологических процессов и соответствующих последствий, проявляющихся в природных системах и социотехносфере. Результаты таких исследований должны использоваться при определении стратегии развития города. Можно выделить техногенные нагрузки, имеющие площадное распространение (застройка, загрязнение территории), линейное воздействие (транспортные коммуникации, вибрация), а также точечные нагрузки. Точечные нагрузки в настоящей работе не рассматриваются, поскольку их влияние несоизмеримо по уровню с площадным и линейным воздействиями, а их важнейшие характеристики уже интегрированы в их границах.

Техногенные нагрузки, имеющие площадное распространение, отражают основные признаки города – пространственную концентрацию людей, построек, а также особый, городской – производственный характер деятельности населения.

В поступательном процессе жизнедеятельности города увеличиваются интенсивность освоения, пространственная концентрация людей и построек, размер городских территорий, количество видов деятельности. Чем более интенсифицируется освоение города, тем активнее происходит взаимодействие антропогенных и природных факторов, тем большее воздействие испытывает геологическая среда. Воздействие на геологическую среду определяется тремя основными признаками: характером, интенсивностью и длительностью, о которых можно судить по градостроительным характеристикам, предполагающим все три признака воздействия. При этом следует рассматривать их существующие тенденции и планируемое состояние.

Наиболее фундаментальный признак городского освоения – пространственная концентрация. Целесообразно, анализируя взаимодействие города и геологической среды Москвы, охарактеризовать: а) концентрацию населения, б) концентрацию построек, в) зоны города с точки зрения преобладающих видов деятельности (функциональные зоны), г) исторически ценные материализованные результаты градостроительного освоения – постройки (в

широком смысле), функционирующие и используемые для нужд города, и культурный слой, сохраняющий остатки прежнего освоения. Накопление культурного слоя (с точки зрения переработки в процессе строительной деятельности) и техногенная его часть — более поздние слои, характеризующиеся скоростью, мощностью и площадью, являются косвенным, но существенным признаком интенсивности освоения города. Перечисленные признаки городской среды, имеющие площадное распространение, выражают материально-пространственную структуру и города в целом, и его отдельных районов. Линейное распространение характерно для транспорта, наземного и подземного. С точки зрения насыщения транспортом, дорогами, подземными линиями метрополитена (плотность транспортной сети) можно рассмотреть площадные характеристики отдельных зон города.

Пространственная концентрация населения — показатель, косвенно отражающий интенсивность антропогенного воздействия на геологическую среду. При длительном освоении городской территории концентрация населения приводит к увеличению этажности и плотности застройки, а также к интенсивному и многоярусному освоению подземного пространства. Концентрация населения чаще всего определяется показателем "плотность населения". В различные периоды развития Москвы плотность населения постоянно увеличивалась. Исторически сложилось, что более высокие плотности формируются в центре города, меньшие — на его периферии. В целом по Москве северный сектор характеризуется наибольшими плотностями, южный и восточный — меньшими. В процессе современной плановой реконструкции города плотность населения меняется, увеличиваясь на периферии и уменьшаясь в центре. Перераспределяются плотности и между секторами.

Такой город, как Москва, столица и центр огромной агломерации, может быть охарактеризован плотностями не только проживающего в нем населения ("ночного"), но и приезжающего на работу и с культурно-бытовыми целями ("дневного"). Так, в центре Москвы при количестве проживающего населения 230 тыс. приезжает до 2,5 млн человек, в том числе до 600 тыс. работающих в нем.

Различны плотности проживающего населения и работающего (от 40—50 до 300—500 человек/га) в промышленных районах города (Восточная, Северная промзоны). Дисбаланс такого рода зависит от исторически сложившихся условий, функциональной направленности и т.д. Наибольшее антропогенное воздействие наблюдается в районах высоких плотностей, в первую очередь "дневного" населения.

В современной Москве большие плотности "дневного" населения сосредоточены в центре и в восточном секторе. В перспективе резко возрастут плотности "дневного" и "ночного" населения в околгородской зоне в процессе освоения резервных территорий Москвы за кольцевой автодорогой (Митино, Бутово, Жулебино, Солнцево). Увеличение притока приезжих до 4,5 млн человек в сутки в центр города и частично в срединную зону, где намечена существенная реконструкция жилых и производственных зон, вызовет также увеличение концентрации населения.

С точки зрения воздействия на геологическую среду существенны также показатели: а) характер застройки (пространственный прием, время постройки, технический уровень исполнения, использование и современная оценка социальной ее значимости); б) функциональное назначение застройки (жилье, производство, общественное назначение); в) пространственная структура застройки: плотность, этажность, распределение застроенных и открытых пространств, количество каменных (бетонных) поверхностей (строений, покрытий) и т.п.; г) интенсивность и характер освоения подземного пространства.

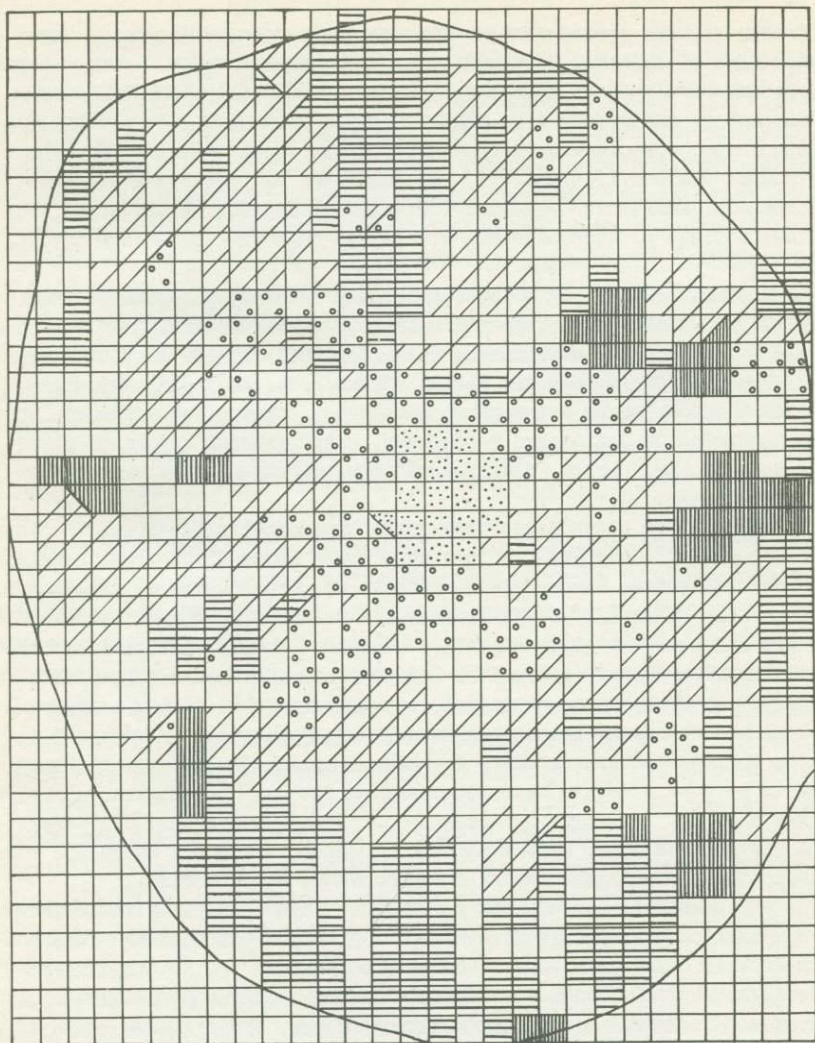
Зонирование территории по преобладающему возрасту застройки основано (рис. 7) на периодизации территориального развития Москвы. Наиболее сложна в этом аспекте центральная зона, где представлена застройка от XVII в. до настоящего времени. Каждый период развития города характеризовался и особым видом инженерного оснащения, объемом коммуникаций, приемами в инженерной подготовке территории, конструкциями дорожного покрытия, техническим уровнем, благоустройством, формировавшими антропогенное воздействие.

Функциональное зонирование территории определяет промрайоны — Восточный, Северный-I, Северный-II и др., куда вошло более 65 промзон, наиболее крупные озелененные территории и основные массивы селитебных территорий. Особенностью сложившегося функционального зонирования Москвы является то, что исторический центр окружен с севера и востока "скобой" наиболее старых промтерриторий (рис. 8). С севера до границ Москвы формируются два широтных промрайона. На востоке города — наиболее старый и обширный промрайон, подходящий вплотную к южному меридиональному, вытянутому до границ Москвы и застраивавшийся и поныне. Система дополняется дисперсными на востоке и западе производственными зонами. Озелененные территории входят в Москву клиньями городских лесов. Селитебные территории монолитны в центральной зоне, перемежаются с производственными в срединной зоне и пересекаются городскими лесами в периферийном поясе Москвы.

По интенсивности воздействия на геологическую среду зоны качественно распределяются так: производственные (17 % территории города) — сильное воздействие; селитебная зона и водные пространства (60 %) — среднее; лесопарки (23 %) — слабое воздействие. Наряду с производственными территориями — основным и наиболее мощным фактором, существенный вклад в развитие экологической обстановки вносит селитебная.

В настоящий момент Москва характеризуется не только территориальной равнозначностью производственных и селитебных районов (см. рис. 8), но и некоторой диспропорцией между разросшимися селитебно-производственными территориями и более, чем скромными зонами общественного центра. При стабильно заниженных плотностях на застроенных территориях собственно открытых рекреационных пространств мало. Продолжают сокращаться незастроенные, в том числе озелененные участки.

Пространственная структура застройки характеризуется резкими различиями между центром и периферией Москвы.

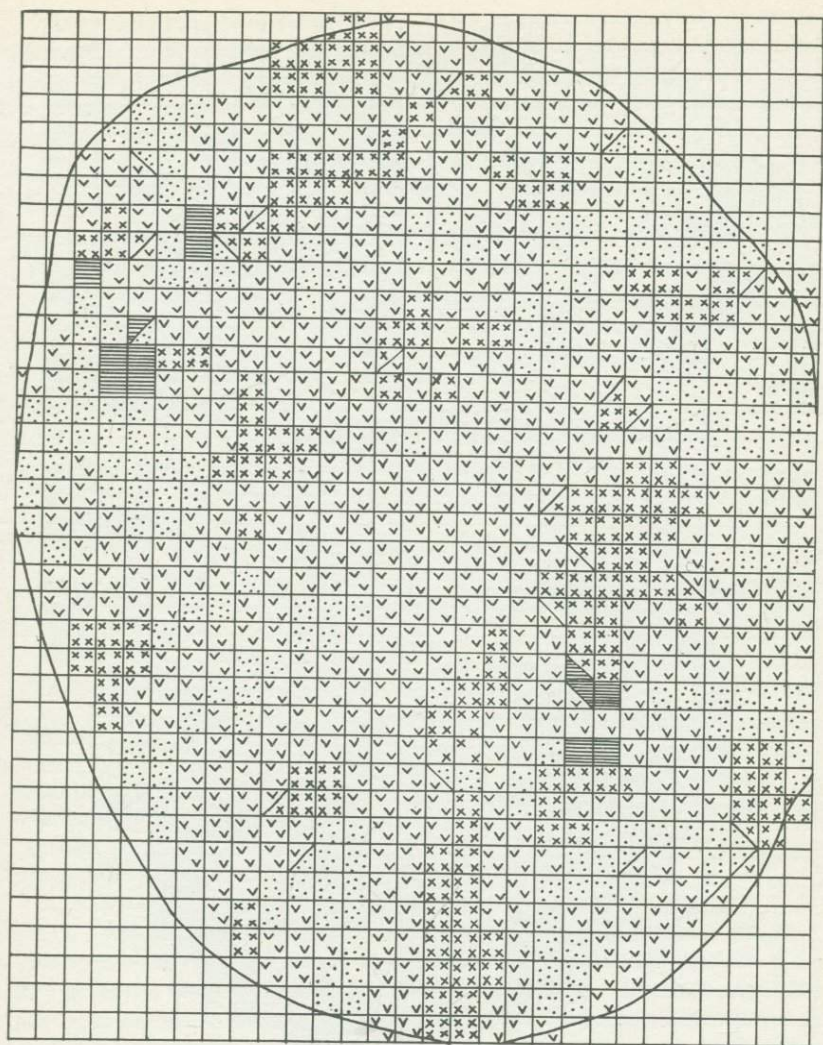


□ 1 ▤ 2 ◻ 3 ▨ 4 ≡ 5 ≡ 6

Р и с. 7. Схема зонирования территории по преобладающему возрасту застройки. Составили Г.Л.Ковф, К.Н.Ненарокова, Е.Б.Смирнова

Годы застройки: I - застройка отсутствует, 2 - до середины 30-х годов, 3 - 30-50-е годы, 4 - 50-60-е годы, 5 - 70-80-е годы, 6 - после 80-х годов

В распределении застройки по этажности в Москве наметилось явление "амфитеатра": повышение этажности в крупномасштабных пространственных структурах на периферии и уплотненный относительно низкий (6-этажный) центр (рис. 9). Неравномерна и насыщенность каменными и асфальтовыми покрытиями. Общая тенденция - уплотнение к центру и разуплотнение к пери-

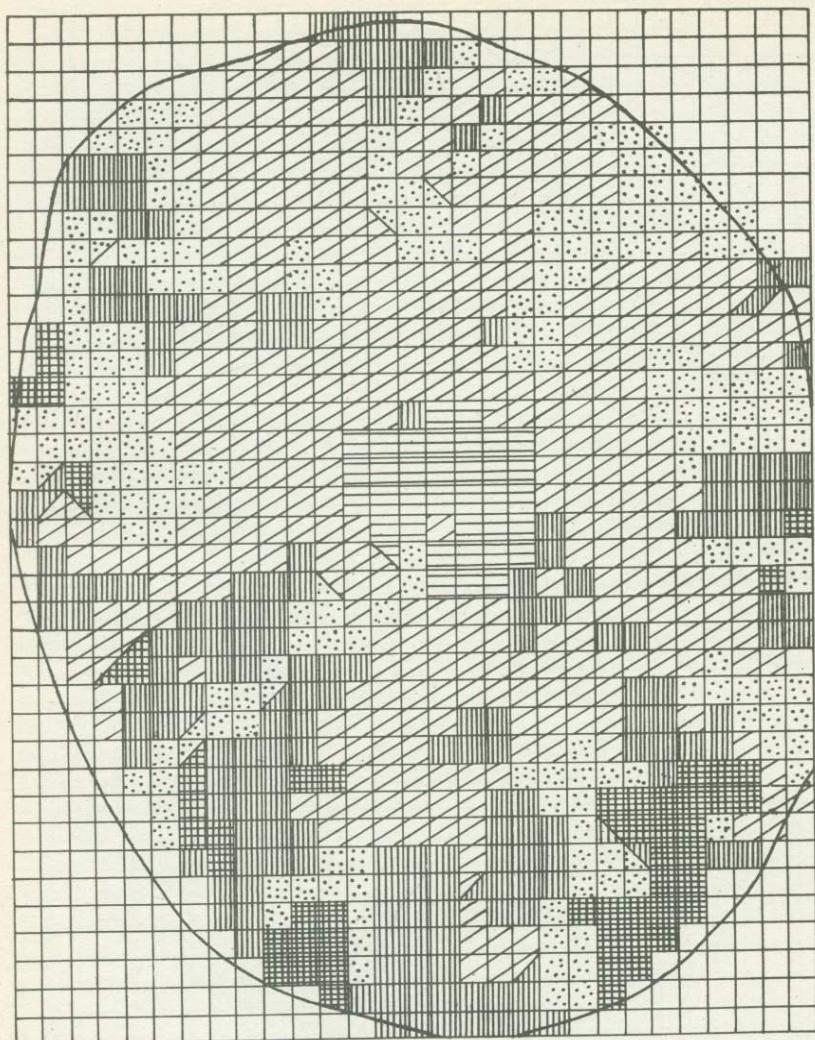


1
 v 2
 3
 x 4

Р и с. 8. Схема функционального зонирования территории. Составили Г.Л.Котф, К.Н.Ненарокова, Е.Б.Смирнова

Преобладающая зона: 1 - лесопарк, 2 - селитебная, 3 - водная поверхность, 4 - производственная

ферии. Принято, что застройка центра (6-этажная) включает разброс от 2 до 9 этажей, но 6-этажные здания составляют более 60%. 5-9-этажная застройка включает районы, где преобладает 5-этажная (более 60%), а также районы, где 5-этажная составляет не менее 40% фонда, 9-этажная - не менее 20% фонда. К 9-16-этажной застройке отнесены районы, где 9-этаж-



1
 2
 3
 4
 5

Р и с. 9. Схема этажности застройки. Составили Г.Л.Кофф, К.Н.Ненарокова, Е.Б.Смирнова

Застройка: 1 - одиночные объекты или застройка отсутствует, 2 - 5-этажная, 3 - 5-9-этажная, 4 - 9-16-этажная, 5 - 16-этажная и выше

ная застройка составляет не менее 50 % фонда, а также районы, где 12-16-этажная застройка составляет не менее 20 % фонда. Повышенная застройка - 16-этажная и выше - включает районы, застроенные преимущественно 12-16-этажными зданиями.

Целесообразно для прогнозных расчетов перейти на пространственные показатели, учитывающие одновременно и этажность (высоту), и плотность (площадь) первичной ячейки застройки. Распределение застроенных и открытых пространств по концентрическим зонам Москвы и ее лесопаркового защитного пояса (ЛПЗП) представлено в табл. 8.

Т а б л и ц а 8. Распределение застроенных и открытых пространств Москвы и ЛПЗП, %

Зона	Площадь, км ²	Застроено			Лес (парки)	Сельско- хозяйствен- ные угодья
		Всего	Город	Село		
Исторический центр (Садовое кольцо), R=5 км	19,0	89,4	89,4	-	10,5	-
Центральная плани- ровочная зона, R=10 км	94,0	86,7	86,7	-	13,2	-
Срединная зона, R=20 км	312,0	72,5	72,5	-	26,5	1,6
Периферийный пояс и приграничная зона, R=20 км	785,0	47,8	44,7	3,1	32,7	32,7
Ближняя зона ЛПЗП, R=25 км	927,0	28,5	20,7	7,8	35,0	33,9
Дальняя зона ЛПЗП, R=30 км	1661,0	20,4	10,6	9,8	39,9	33,5

Освоение подземного пространства весьма неравномерно по городу: в историческом центре оно имеет четыре уровня - вся застройка с подвалами, оснащенная инженерными, транспортными устройствами, спецсооружениями (до 5 м); сохранились исторические подземелья (до 10 м); выборочное освоение - станции метро, производства (до 20 м); линии метрополитена (40-70 м). По мере удаления от центра освоение подземного пространства сосредоточивается вдоль магистралей и становится I-2-уровневым.

В целом при взаимодействии хозяйственной системы и геологической среды проявляются обратные связи в виде воздействия техногенно измененной геологической среды на социотехносферу. В этом аспекте важным является анализ информации, используемый для сохранения памятников архитектуры и районов древней застройки. В процессе преобразования и реконструкции сложившегося города полученные оценки важны для решаемой задачи охраны, реставрации и современного использования отдельных памятников архитектуры, истории и культуры, сохранения ансамблей и комплексов, произведений садово-паркового искусства. Особенно важно выявить все виды борьбы с негативными воздействиями на ценную историческую застройку, для чего необходимо установить степень воздействия техногенно измененной геологической среды, дифференцированной по градостроительным зонам и типам геологической среды. В основу представленной схемы положены понятия "исторически ценная среда го-

рода" и "историко-природное наследие города как предмет охраны". Основную ценность представляет не только центр, несколько вытянутый на северо-востоке вдоль Яузы, но и исторически возникшие и сохранившиеся до настоящего времени городские леса с памятниками ландшафтного искусства.

Для уточнения прогнозных характеристик в дальнейшем необходимо вводить понятия "историческая среда", а также "зона уникальных сооружений", которые потенциально станут памятниками завтра. Следует также рассматривать зоны сосредоточения общественных сооружений (каркас города) как зону потенциального возникновения новых уникальных сооружений. Кроме того, в дальнейшем необходимо учитывать и оценивать участки размещения археологически ценного культурного слоя.

Все рассмотренные градостроительные характеристики важны для оценки ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды.

Геологическая среда в условиях техногенного физического воздействия

Техногенное физическое воздействие. Современный большой город, такой, как Москва, располагающий значительным промышленным и энергетическим потенциалом, разветвленной транспортной сетью и обширным коммунальным хозяйством, оказывает значительное воздействие на геологическую среду, опосредствованное через искусственно создаваемые физические поля. Такое техногенное физическое воздействие обуславливает изменение гравитационного, температурного, электрического, магнитного и других физических полей Земли, приводит к возникновению вибрационного и шумового полей, создает так называемое физическое загрязнение. Поскольку техногенное физическое воздействие осуществляется посредством передачи энергии от объектов-источников к геологической среде и связанным с ней инженерным сооружениям, физическое загрязнение можно определить как суммарный потенциал физических полей, выходящий по величине за рамки "привычных" естественных физических полей, к которым природная среда и человек приспособились за длительное время совместного существования. Этот суммарный потенциал определяет величину техногенного физического воздействия на геологическую среду в городах.

В возникновении физического загрязнения особую роль играют искусственные вибрационное, температурное и электрическое (поле блуждающих токов) поля. Физические поля иных видов менее значимы при формировании инженерно-геологической обстановки на территории городов. Источниками указанных искусственных физических полей являются энергетические и горнодобывающие комплексы, электрифицированные железные дороги, линии метрополитена и трамвая, линии электропередач переменного и постоянного тока, промышленные предприятия, градостроительные объекты и т.п. Искусственные физические поля, хотя и локализируются на ограниченных пространствах, по интенсивности проявления и воздействия на окружающую среду могут значительно превосходить свои природные аналоги, как это

видно из табл. 9. Тем существеннее оказывается их воздействие на геологическую среду, выступающую в данном случае в качестве среды-носителя и передающей среды.

Т а б л и ц а 9. Сравнительные характеристики естественных и техногенных физических полей

Вид поля и его характеристика	Естественное	Техногенное
Температурное, интенсивность, Вт/м ²	10 ⁻² - 10 ⁻¹	Более 10 ⁰
Механическое (вибрационное), интенсивность, Вт/м ²	Отсутствует	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁴
Электрическое поле блуждающих токов, плотность, А/м ²	Менее 10 ⁻³	До 10 ¹

Техногенное воздействие физического загрязнения на геологическую среду проявляется в виде сообщения дополнительного количества энергии через статическое (вес сооружений), динамическое (вибрация), температурное и электрическое (блуждающие токи) поля. Избыточная энергия, накапливающаяся в геологической среде, служащей фундаментом оснований или вмещающей средой инженерных сооружений и коммуникаций, таит в себе потенциальную опасность ухудшения свойств этой среды.

В условиях города геологическая среда характеризуется целым рядом специфических особенностей: наличием искусственных грунтов, высокой степенью закрытости поверхности земли твердым покрытием, строениями, большим количеством рассредоточенных надземных, наземных и подземных источников воздействия на среду. Все это ведет к тому, что суммарное влияние коммунального, гражданского и промышленного строительства в крупных городах ощущается до глубины 20-50 м, а с учетом строительства и эксплуатации метрополитена, откачек артезианских вод из глубинных водоносных горизонтов - до глубины 100-300 м.

Физическое воздействие обладает свойством избирательности, определяющим как характер самого воздействия, так и возможные его последствия. "Мишенью" статического и динамического воздействия являются твердый и жидкий компоненты геологической среды. Тепловое воздействие также распространяется как на твердую, так и на жидкую компоненты среды, а электрическое воздействие целиком ассоциируется с жидким компонентом, который является в горных породах электролитом. Такая избирательность техногенного физического воздействия во многом обуславливает его последствия.

Статические и динамические нагрузки способствуют возникновению и (или) интенсификации процессов, причиной которых является изменение напряженного состояния массива горных пород (статическое сжатие, уплотнение с последующим оседанием земной поверхности или выпором грунтов). Тепловое воздействие вызывает нарушение температурного режима грунтов, затрудняет использование подземных вод для технических

целей, стимулирует процессы химической и биологической коррозии. Электрическое воздействие, носящее по сути своей электрохимический характер, при умеренной плотности электрического тока не затрагивает твердого компонента геологической среды, но, проявляясь в ухудшении коррозионной обстановки, увеличивает возможность аварий водонесущих коммуникаций, что негативным образом отражается на состоянии грунтового массива. Некоторые сведения об источниках, характере и последствиях техногенного физического воздействия на геологическую среду приведены в табл. 10.

Т а б л и ц а 10. Техногенное физическое воздействие на геологическую среду

Вид и источники воздействия	Характеристика, интенсивность	Характер воздействия и возможные последствия
Динамическое (вибрационное)	Уровень колебаний при измерении виброскорости, дБ	Неравномерное уплотнение песчаных грунтов, приводящее к усадкам и деформации сооружений; нарушение твердого покрытия скоростных магистралей
Рельсовый транспорт	130-75	
Промышленные предприятия	103-60	
Автомобильный транспорт	65-46	
Тепловое	Температура источника, °С	Нагревание грунтов и грунтовых вод, дегидратация глинистых грунтов, уменьшение вязкости глинистых грунтов, уменьшение вязкости глинистых грунтов, повышение агрессивности подземных вод, увеличение скорости коррозии стали
Подземные газоходы на предприятиях	160-140	
Трубы теплоснабжения	150-50	
Сборные коллекторы, кабельные туннели	45-35	
Туннели метрополитена, подземные сооружения	25-18	
Замороженный грунт при строительстве	-10+26	
Электрическое	Напряженность поля, мВ/м	Усиление процессов электрохимической коррозии металлических элементов инженерных сооружений
Электрифицированный рельсовый транспорт	500-150	
Станции катодной противокоррозионной защиты	1600-200	

Приводимые в табл. 10 характеристики источников показывают, что диапазон воздействия их на геологическую среду достаточно широк. Таким образом, техногенное физическое воздействие представляется существенным фактором в числе слагаемых, в сумме определяющих инженерно-геологические условия на территории таких городов, как Москва, и способствующих изменению свойств геологической среды в целом или отдельных ее компонентов.

Оценка динамического воздействия. Динамическое воздействие на геологическую среду реализуется через поле вибрации, источниками кото-

рого являются промышленные и строительные машины и механизмы, а также транспортные средства. Поле вибрации соотносится с теми характеристиками геологической среды, которые определяют ее прочностные и деформационные свойства.

По отношению к воздействию на нее вибрационному полю геологическая среда играет двоякую роль. Если среда в достаточной мере обладает упругими свойствами, она передает вибрацию от источника колебаний к объекту воздействия, не претерпевая сама при этом заметных изменений. Такой особенностью могут характеризоваться, например, скальные и полускальные грунты, рассеяние и поглощение колебательной энергии в которых весьма незначительно.

Однако зачастую в результате вибрационного воздействия в геологической среде, вещественная часть которой представлена дисперсными грунтами, происходят необратимые изменения структуры грунтов, главным образом за счет изменения силы структурных связей и взаиморасположения частиц. Это может приводить к неравномерному уплотнению грунтов, уменьшению их прочности, высвобождению слабосвязанной воды с последующим удалением ее и т.п.

Следует иметь в виду, что эффект вибрационного воздействия на геологическую среду может значительно усиливаться при предрасположенности грунтовых массивов к проявлению таких инженерно-геологических процессов, какими являются оползни, обвалы, карст и т.п. В условиях городских территорий, где происходит, с одной стороны, концентрация воздействия, а с другой — локализация участков, подвергающихся такому воздействию, эффект может быть еще большим. Механизм связи представляется следующим. Локализованное воздействие вибрационного поля на некоторый объем грунтовой массы может вызвать, например, оползневую подвижку, способную охватить уже значительный участок территории, существенно усугубив тем самым ущерб от вибрационного воздействия как такового.

Возможна также реализация "эффекта резонанса", возникающего в том случае, когда вблизи источника вибрационного поля находится значительное по размерам подземное водохранилище с большим объемом воды, которое может аккумулировать энергию вибрационного поля и усиливать его воздействие в окружающем массиве грунта.

При изучении влияния вибрации на состояние геологической среды надо учитывать и явление так называемой "усталости грунта" — постепенно накапливающийся эффект действия циклических динамических нагрузок, неравномерно распределенных во времени. В реальных условиях горные породы, представляющие вещественную часть геологической среды, подвергаются не только знакопеременным нагрузкам типа растяжение-сжатие, а нагружаются одновременно и переменными и статическими напряжениями. Понятно, что в этом случае вероятность проявления эффекта "усталости грунта" может оказаться достаточно высокой.

Современный большой город представляет собой многокомпонентную полифункциональную систему. Генерализованная схема деления городской

территории обуславливается наличием в ее пределах различных функциональных зон (промышленной, селитебной, коммунально-складской, внешнего транспорта, рекреационной и т.д.). Источники вибрации распределены по территории города неравномерно. Наибольшая концентрация их характерна для промышленной зоны, где расположены промышленные и энергетические предприятия, наименьшая для селитебной и тем более рекреационной зон. Особая роль в формировании техногенного вибрационного поля принадлежит транспорту. Транспортные магистрали (улицы, проезды, метрополитен, линии трамвая и железной дороги), пересекая во всех направлениях территорию города, образуют сложную систему линейных источников вибрации (см. таол. 10).

Источники вибрации в пределах территории города в целом или отдельных его районов способствуют возникновению механических колебаний частиц грунта главным образом в частотном диапазоне от 3-5 до 60-70, иногда до 200 Гц с максимумом амплитуды на частоте около 20 Гц [15, 85, 83]. Уровень вибрации может оцениваться по амплитуде смещения частиц в их колебательном движении, скорости или ускорению этого движения. Для низкочастотной вибрации более существенную роль играет скорость смещения частиц, тогда как при высокочастотной вибрации большее значение имеет ускорение [82]. Поскольку, как указывалось выше, вибрация, вызываемая движением транспорта и работой большинства промышленных установок, а также функционированием строительных механизмов, представляет собой колебания, частота которых в основном не превышает 200 Гц, ее можно отнести к разряду низкочастотных колебаний и количественно оценивать посредством измерения виброскорости, т.е. скорости смещения частиц грунта, колеблющихся относительно некоторого первоначального положения.

Виброскорость удобно измерять в децибелах, оценивая ее уровень относительно некоторого фонового значения. При этом значения виброскорости в децибелах однозначно сопоставляются с абсолютными величинами скорости, измеряемой в метрах в секунду (по причине малости величины смещения частиц и величины скорости смещения виброскорость следует оценивать в микронах в секунду (мкм/с или в 10^{-6} м/с). Изменение уровня виброскорости на 20 дБ соответствует увеличению или уменьшению абсолютных значений скорости смещения частиц грунта на порядок, т.е. в 10 раз.

Создаваемое на территории города вибрационное поле по своему уровню изменяется от 40-50 до 80-90 дБ (что соответствует изменению виброскорости в абсолютных единицах от 5-15,8 до 500-1580 мкм/с) и более в непосредственной близости от места расположения источников, достигая фоновых значений на расстоянии от 30-40 до 90-150 м от них.

Анализ пространственных и частотных характеристик различных источников вибрации в городах и определение размеров формируемых ими зон воздействия показывают, что основными по отношению к геологичес-

кой среде и находящимся в ней инженерным объектам источниками являются транспортные магистрали. В силу того, что транспортные магистрали формируют остов города и достаточно равномерно распределены по всей территории, транспортное вибрационное воздействие можно считать постоянно и повсеместно действующим фактором, играющим наиболее существенную роль при оценке состояния геологической среды.

Что же касается самого источника транспортного вибрационного воздействия, то его можно рассматривать как совокупность линейных источников, отражающих сеть зачастую очень сложной конфигурации. Если сеть транспортных магистралей с интенсивным движением достаточно густая, то при определенной степени детальности изысканий применительно к отдельным участкам городской территории транспортная вибрация может рассматриваться как фактор, действующий на площадь выделенного участка в целом.

До настоящего времени при определении инженерно-геологических условий оценок интегрального вибрационного поля, а также поля, создаваемого отдельными источниками, не проводилось. В качестве компенсации возможного влияния вибрации сооружения на несущую способность грунтов основания фундаментов при проектировании последних предусматривают определенный "запас прочности" пород. При этом учитывается только та вибрация, которая генерируется самим сооружением и передается на грунты в зоне их контакта с этим сооружением.

При такой постановке вопроса транспортная вибрация и возможное ее влияние на прилегающие участки территории практически выпадают из поля зрения изыскателей и проектантов. Между тем при проектировании новых и реконструкции старых магистралей, которые зачастую проходят в уже сложившихся и поэтому одновременно застроенных частях городских территорий, необходимо учитывать вибрацию, создаваемую движущимися транспортными средствами и в особенности рельсовым наземным и подземным транспортом, оценивать ее возможное влияние на грунтовые массы субстрата и прилегающих территорий.

Для удобства получения количественных характеристик транспортной вибрации магистрали и улицы города следует подразделять на четыре категории, используя в качестве критерия деления интенсивность движения транспорта. К низшей, IV категории можно отнести улицы и проезды, транспортный поток вдоль которых не превышает 300 транспортных единиц в час. Этот предел определяет нижнюю границу интенсивности постоянного транспортного потока, поскольку при интенсивности движения меньше этого предела следует говорить о нерегулярном движении отдельных транспортных средств с большими временными интервалами. К III категории относятся улицы, интенсивность движения вдоль которых ограничивается сверху величиной 900 тр.ед./ч, ко II категории — улицы и магистрали с интенсивностью движения до 2700 тр.ед./ч. При большей интенсивности движения улицы и магистрали следует относить к высшей, I категории.

В соответствии с результатами проведенных в Институте литосферы АН СССР экспериментов было установлено, что существует вполне устойчивая зависимость между интенсивностью транспортного потока и уровнем создаваемой этим потоком транспорта вибрации. Эта зависимость аппроксимируется степенной функцией вида $y = A \cdot x^B$, где $A = 21,5$; $B = 0,13$. Используя приводимую зависимость, можно по интенсивности транспортного потока достаточно быстро оценить примерную величину уровня транспортной вибрации, даже не прибегая к инструментальным измерениям. Полученная зависимость позволила определить граничные значения уровня вибрации (при измерении виброскорости) для улиц и магистралей различных категорий (табл. II).

Т а б л и ц а II. Средний уровень вибрации для улиц и магистралей с различной интенсивностью движения транспорта

Категория магистралей	Интенсивность транспортного движения, тр.ед./ч	Уровень, дБ	Скорость перемещения частиц, 10^{-6} м/с
I	Более 2700	Более 60	Более 50
II	901-2700	52-60	19,9-50
III	301-900	46-52	10 -19,9
IV	До 300	До 46	До 10

Измерения транспортной вибрации показали, что при интенсивности транспортного потока, не превышающей 300 тр.ед./ч, вибрационное воздействие не носит характера стационарного процесса, а проявляется эпизодически по мере прохождения транспортных средств. При большей интенсивности транспортного потока вибрационное воздействие можно считать квазистационарным процессом. При этом следует учитывать временной интервал "работы" магистралей и улиц, поскольку интенсивность движения транспорта особенно на городских улицах, относящихся ко II, III и IV категориям, в значительной мере определяется временем суток. Уровень вибрации, отвечающий интенсивности транспортного потока в 300 тр.ед./ч и составляющий при измерении виброскорости величину 46 дБ (что соответствует скорости перемещения частиц грунта $10 \cdot 10^{-6}$ м/с), является первым (нижним) пороговым значением уровня транспортной вибрации при оценке вибрационного воздействия на геологическую среду.

Допустимыми значениями уровня вибрации для грунтов в основании зданий и сооружений являются 73-96 дБ (скорость перемещения частиц грунта $225 \div 3160 \cdot 10^{-6}$ м/с) [1, 67]. В соответствии с этим наименьшее из этих значений 73 дБ принимается в качестве верхнего предела допустимого вибрационного воздействия на геологическую среду.

Следует иметь в виду, что при оценке вибрационного воздействия железнодорожного транспорта, метрополитена и трамвая уровень вибрации вблизи железнодорожного и трамвайного полотна может достигать 90-95дБ

(что соответствует скорости перемещения частиц $1580 \pm 2835 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$). На расстоянии 30–40 м уровень вибрации снижается приблизительно до 60 дБ ($50 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$) и лишь на расстоянии, значительно большем 50 м, приближается к 46 дБ ($9,98 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$), что соответствует нижнему пределу вибрационного воздействия.

Наличие или отсутствие на магистралях и улицах рельсового транспорта является решающим фактором при оценке вибрационного воздействия на геологическую среду. Уровень вибрации оценивается по тем колебаниям, которые создаются при движении рельсового транспорта. Вибрация от автомобильного транспорта в этом случае играет подчиненную роль.

В соответствии с выбранными значениями уровня транспортной вибрации следует считать, что при вибрации, меньшей 46 дБ (реально это соответствует нерегулярному автомобильному движению) воздействие имеет низкий уровень, при 46–73 дБ (это соответствует постоянному автомобильному движению с разной интенсивностью транспортного потока) – средний уровень, а при вибрации, превышающей 73 дБ (это возможно тогда, когда наряду с автомобильным транспортом или независимо от него существует рельсовый транспорт различного вида с регулярным движением), – высокий уровень.

Сопоставление данных по интенсивности транспортного потока в Москве с результатами натурных наблюдений за уровнем вибрации, создаваемой автомобильным транспортом, позволило оценить величину вибрационного воздействия на геологическую среду (табл. 12).

Т а б л и ц а 12. Транспортное вибрационное воздействие на некоторых магистралях Москвы

Магистраль	Интенсивность транспортного потока, тр.ед./ч*	Категория магистрали (см.табл. II)	Виброскорость, дБ	Уровень воздействия
Ленинградский проспект	10 560	I	72	Средний
Садовое кольцо	9 950	I	71	"
Кутузовский проспект	7 920	I	69	"
Варшавское шоссе	6 740	I	67	"
Ломоносовский проспект	3 670	I	62	"
Тимирязевская ул.	I 200	II	54	"
Кировоградская ул.	960	II	52	"
Новогиреевская ул.	740	III	51	"
Талдомская ул.	240	IV	42	Низкий
Базовская ул.	130	IV	41	"

*По данным НИПИ Генплана г. Москвы, 1982 г.

Критерием при оценке состояния геологической среды в условиях вибрационного воздействия может служить степень отклонения от нормальных инженерно-геологических условий. Поскольку инженерно-геологические условия всегда "привязаны" к какой-либо конкретной задаче, нормальное состояние геологической среды также не носит абсолютного характера, а рассматривается относительно определенной целенаправленной деятельности. Однако существует возможность, не вдаваясь в детали, рассмотреть способы оценки состояния геологической среды с учетом техногенного воздействия.

Инженерно-геологические условия в данном контексте рассматриваются как совокупность устойчивости рельефа поверхности и механической устойчивости грунтов, служащих основанием и вмещающей средой для сооружений. Устойчивость рельефа поверхности определяется возможностью или невозможностью протекания таких экзогенных процессов (оползни, обвалы), которые могут в конечном итоге приводить к изменению формы дневной поверхности, а также к активизации этих процессов, в которой первостепенную роль играют факторы, определяющие влияние на рельеф вибрационного поля.

Подрезка склонов при прокладке магистралей или инженерной подготовке строительной площадки, выемка большого количества грунта при строительстве и перенесение и концентрация его в определенных местах способствуют изменению состояния равновесия в пределах грунтовых массивов. Эти изменения в сочетании с сосредоточенным вибрационным воздействием могут приводить к возникновению спровоцированных обвално-оползневых явлений.

Рассматривая вибрационное воздействие как механическое, следует иметь в виду, что оно может вызывать изменение несущей способности и деформацию грунтов, служащих основанием или вмещающей средой инженерных сооружений, коммуникаций или транспортных магистралей. При этом как правило, наблюдается уплотнение грунта, которое может носить равномерный или неравномерный характер. При равномерном уплотнении грунтов не возникают напряжения в конструкциях, лишь при значительном сжатии возможны нарушение технологических связей или деформация всего инженерного объекта.

В результате неравномерности уплотнения грунтов могут возникать дополнительные напряжения в конструкциях, носящие в определенных пределах безопасный характер и при усилении сопровождающиеся возникновением трещин и разрывов или даже разрушением конструкции в целом или отдельных ее элементов. При значительном неравномерном уплотнении грунтов происходят нарушение внутреннего технологического режима, деформация, а иногда и разрушение сооружения в целом [64].

Техногенное воздействие, опосредованное через поле вибрации и разделенное, как указывалось выше, на три интервала (низкий,

средний и высокий уровни воздействия), соотносится с тремя градациями состояния геологической среды. Это значит, что соответственно указанным трем уровням воздействия следует определять состояние геологической среды как нормальное, удовлетворительное и неудовлетворительное.

При выборе интервалов, определяющих низкий, средний и высокий уровни воздействия, можно рекомендовать следующую критериальную основу: низкий уровень соответствует такому по силе воздействию, при котором оно не вызывает в геологической среде возмущений, по величине существенно отличающихся от природного фона; средний уровень отвечает такому воздействию, при котором геологическая среда может претерпевать изменения, не выходящие за рамки допустимых (верхними пределами значений изменяющихся параметров среды служат технологические лимитирующие параметры, регламентируемые нормативными документами); высокий уровень соответствует такому воздействию, которое может вызывать изменения геологической среды, выходящие за рамки предельно допустимых.

При низком уровне воздействия нет необходимости в осуществлении специальных мероприятий, имеющих целью создание нормальных (или требуемых для решения конкретных задач) инженерно-геологических условий.

При среднем уровне воздействия, которому соответствует удовлетворительное состояние геологической среды, мероприятия, направленные на оптимизацию инженерно-геологических условий, не выходят за рамки обычной инженерной подготовки территории, осуществляемой при различных видах освоения последней.

При высоком уровне воздействия, обуславливающим возможность возникновения неудовлетворительного состояния геологической среды, поддержание ее нормального состояния требует осуществления специальных мероприятий, разрабатываемых для каждого конкретного случая и определяемых наблюдающимися условиями воздействия.

Естественно, что спектр мероприятий, имеющих целью оптимизацию инженерно-геологических условий, столь же широк, сколь разнообразны качественно и количественно отклонения состояния геологической среды от нормального. Формы отклонения и их степень, в свою очередь, всецело определяются видом и интенсивностью проявления техногенного воздействия, как в общем интегральном виде, так и, в частности, вибрационного воздействия — главенствующего в пределах городских территорий. При этом следует иметь в виду, что оценка состояния геологической среды, как это уже рассматривалось выше применительно к понятию "инженерно-геологические условия", не может носить абсолютного характера, поскольку в конечном итоге она определяется конкретной целью освоения территории, программой дальнейшего ее использования.

Измерения уровня техногенной вибрации осуществляются с помощью соответствующей серийно выпускаемой аппаратуры (например, измеритель шума и вибрации типа ИшВ-1). Следует отметить, что виброизмерительные датчики, входящие в комплект аппаратуры, в силу недостаточной чувствительности, обусловленной использованием пьезоэлектрического эффекта, непригодны для измерения вибрационного поля, генерируемого в геологической среде различными источниками. Поэтому в качестве датчиков возможно использование сейсмоприемников электродинамического типа (например, типа СВ), имеющих достаточно хорошие характеристики в диапазоне частот от 5-10 до 200 Гц. При использовании сейсмоприемников вместо входящих в комплект аппаратуры пьезоэлектрических преобразователей до проведения измерений сейсмоприемники следует протарировать по показаниям регистрирующего прибора относительно виброизмерительных преобразователей, придаваемых к комплекту измерительной аппаратуры.

Уровень вибрации оценивается по скорости перемещения частиц в их колебательном движении. Измерения уровня вибрации проводятся либо по системе профилей, либо по равномерной сети наблюдений, либо по иным схемам, конфигурация и параметры которых определяются задачами проводимых исследований.

При измерении уровня вибрационного воздействия конкретного источника датчик устанавливается в непосредственной допустимой близости от этого источника. При измерении пространственных характеристик вибрационного поля датчики размещаются в пунктах, определяемых конфигурацией предусмотренной схемы наблюдений.

Поскольку основными источниками вибрационного поля в пределах городских территорий являются транспортные магистрали различных категорий, представляется целесообразным более подробно остановиться на методике измерения вибрационного поля, создаваемого транспортными магистралями. Точки измерения размещаются вдоль системы профилей, ориентированных параллельно и перпендикулярно магистралям. Это дает возможность получать полное представление о пространственных характеристиках вибрационного поля в окрестностях магистрали, оценить скорость затухания поверхностных колебаний по мере удаления от источника.

Точки наблюдений при измерении уровня вибрации вдоль магистрали следует выбирать вне перекрестков (если не стоит конкретная задача оценки транспортной вибрации именно на перекрестках) с таким расчетом, чтобы они характеризовали уровень вибрации, создаваемый движущимся транспортом на всем интервале магистрали между перекрестками. В случае малого расстояния между перекрестками (до 100-300 м) можно ограничиться проведением наблюдений на одной-двух точках. Если расстояние между перекрестками превышает 200-300 м, число точек следует увеличить до двух-пяти, проводя наблюдения из расчета одной точки измерения на 100 м длины магистрали. В значительной

мере это относится к магистралям с высокой интенсивностью движения транспорта, трамвайным движением, наличием остановок и стоянок транспорта и т.п. категорий, где можно ограничиться проведением наблюдений на одной-двух точках вне зависимости от длины отрезка улицы между перекрестками.

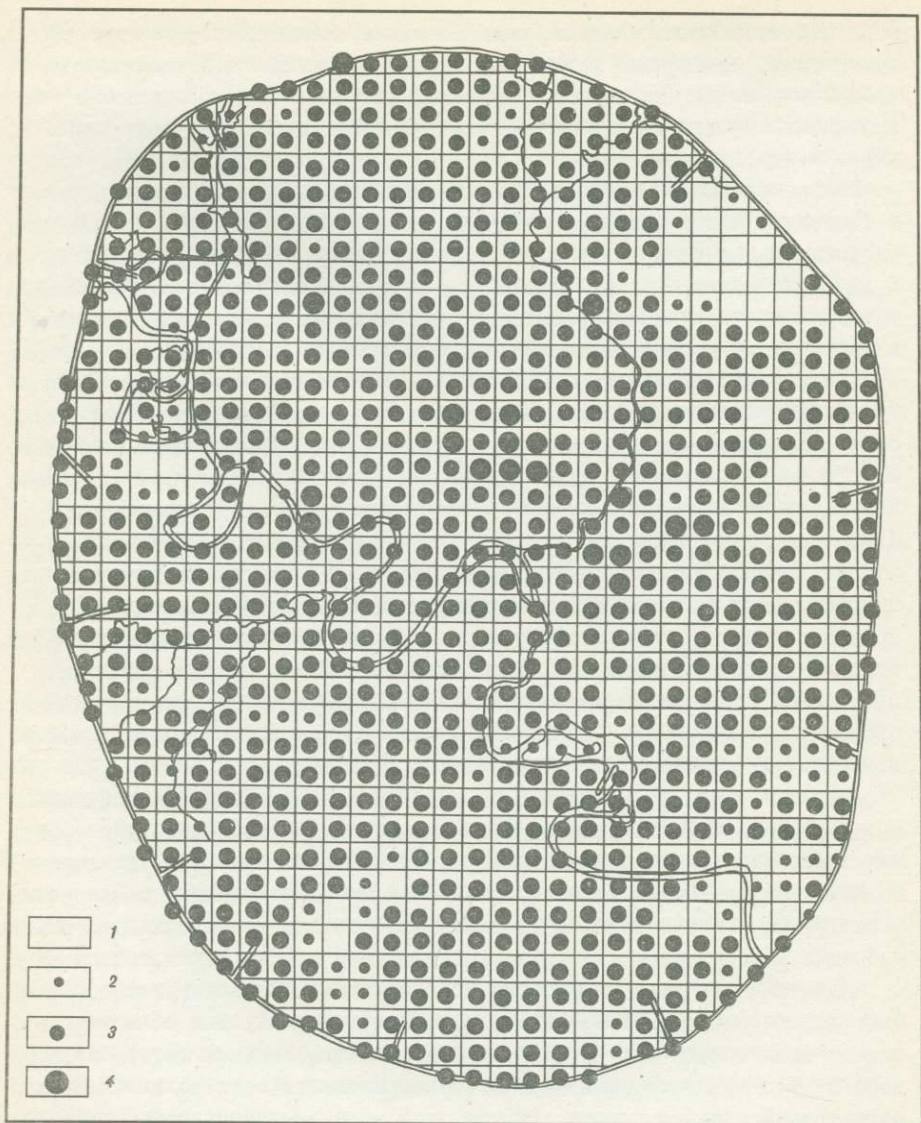
Измерения уровня вибрации на каждой точке следует проводить в течение 5 мин., фиксируя при этом максимальное значение виброскорости в пределах каждого 10-минутного интервала дискретизации. В качестве характеристики уровня транспортной вибрации на каждой точке следует принимать среднее арифметическое измеренных величин виброскорости в пределах 5-минутного интервала измерения.

При наличии на магистрали движения трамвая или железнодорожного транспорта на каждой точке наблюдения измерения проводятся по более сложной схеме. В процессе измерения определяются так называемое "фоновое" значение уровня вибрации, максимальное и среднее значение уровня вибрации в момент прохождения рельсового транспорта. Измерения повторяются 3-5 раз для нескольких проходов трамвая или железнодорожного состава при фиксированном положении датчика. Оценка уровня вибрации при наличии трамвая или железнодорожного транспорта проводится по вибрации, создаваемой этими видами транспортных средств, поскольку колебательные движения частиц грунта, вызываемые движением трамвая или железнодорожного транспорта, по своим характеристическим параметрам намного перекрывают колебательное движение, вызываемое автомобильным транспортом.

Конечной целью пространственных измерений поля вибрации является составление схем вибрационного воздействия на геологическую среду. При построении такой схемы для территории Москвы (рис. 10) в качестве основных оценочных характеристик были выбраны величина плотности магистралей и интенсивность транспортного потока, определяющая уровень вибрации [20].

Значительная часть территории города (около 81 %) является областью, характеризующейся средним уровнем воздействия. Эта область занимает практически всю территорию в пределах кольцевой автомобильной дороги, что отражает равномерность распределения сети автомобильных магистралей в черте города. Внутри этой области встречаются отдельные разрозненные участки, где зафиксировано вибрационное воздействие высокого уровня. Суммарная площадь таких участков, в пределах которых находятся, как правило, крупные железнодорожные узлы и пересечения трамвайных линий, что и является причиной сильного вибрационного воздействия, составляет около 3 % от общей площади города. Участки, характеризующиеся низким уровнем вибрационного воздействия, занимают 10 % всей территории и также не формируют единой области.

При составлении схем вибрационного воздействия на большие по площади участки (см. рис. 10) проводится поквadratная оценка территории с учетом средних интегральных величин, характеризующих площадь еди-



Р и с. 10. Схема оценки транспортного вибрационного воздействия на геологическую среду. Составили А.Д.Жигалин, Г.П.Локшин [21]
 Воздействие: 1 - отсутствует, 2 - низкий уровень, 3 - средний уровень, 4 - высокий уровень

ничного квадрата. Такой способ оценки позволяет довольно быстро получать результаты рекогносцировочного порядка, хотя и с большой достоверностью. Более детальное исследование поля вибрации, например в окрестностях отдельных объектов, даст возможность пространствен-

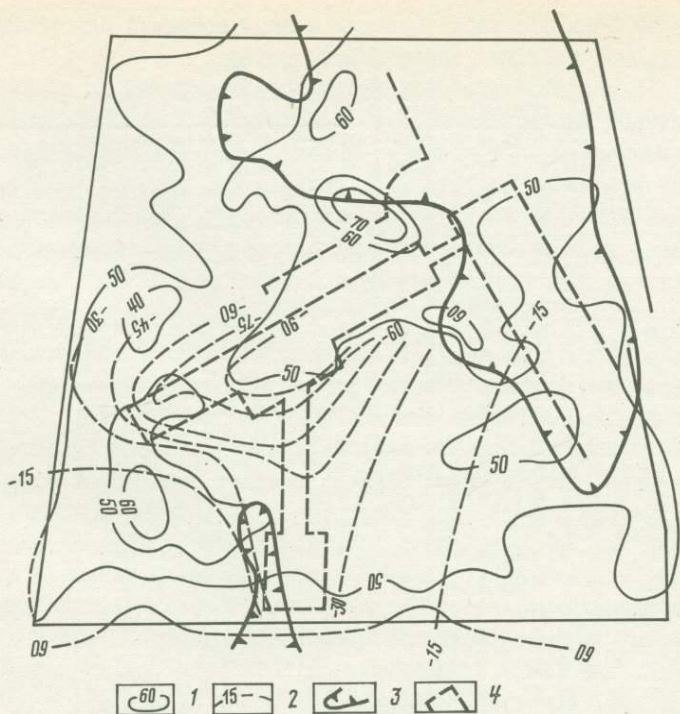
ного представления его характеристик в виде изолиний или графиков изменения уровня вибрации вдоль линии профиля.

На рис. II представлены результаты виброизмерений на территории Государственной библиотеки СССР им. В.И. Ленина. В данном случае вибрация, создаваемая за счет движения поездов метрополитена и автомобильного транспорта вдоль магистралей, окаймляющих участок, может рассматриваться как один из существенных факторов, определяющих реальную инженерно-геологическую ситуацию на территории библиотеки.

Как показали наблюдения, значения виброскорости здесь изменяются в основном от 40 до 50 дБ, что соответствует абсолютным значениям виброскорости от $5 \cdot 10^{-6}$ до $16 \cdot 10^{-6}$ м/с. Эти значения виброскорости можно считать для данного участка фоном, относительно которого выделяются зоны аномально высоких значений виброскорости (более 60–70 дБ), связываемые с работой строительных механизмов и вентиляционной установки. Движение поездов метрополитена создает на дневной поверхности вибрацию, уровень которой достигает 60–80 дБ ($50 + 500 \cdot 10^{-6}$ м/с). В пределах участка можно выделить две зоны заметного влияния метрополитена. При сопоставлении результатов виброизмерений и данных инструментальных наблюдений по геодезическим реперам, проводившихся ранее с целью изучения процесса оседания земной поверхности в связи со строительными работами [55], обнаруживается, что зона максимальных осадок реперов пространственно совпадает с зоной относительно более высоких значений уровня вибрации, обусловленной движением поездов метро, на что указывает конфигурация изолинии 50 дБ.

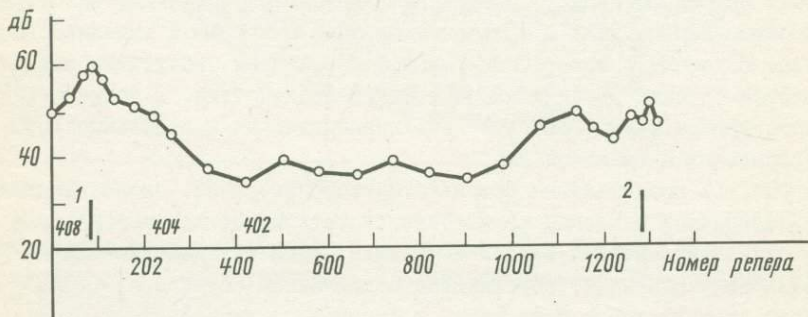
Учитывая разновременность проведения геодезических и виброметрических наблюдений, можно сделать вывод о том, что осадки явились следствием воздействия на грунтовую массу в связи с проводившимися горнопроходческими работами, тогда как появление аномалий поля вибрации целиком обусловлено движением поездов метрополитена. Однако сам факт пространственного совпадения аномальных зон свидетельствует о возможности изменений в грунтовом массиве в пределах выделяемого участка. В целом же показанный участок территории библиотеки характеризуется средним уровнем вибрационного воздействия. О воздействии высокого уровня можно говорить лишь применительно к отдельным точкам в пределах аномальных зон.

На рис. I2 представлены результаты виброизмерений, проводившихся вдоль набережной р. Москвы на участке от Метромоста до Андреевского моста окружной железной дороги и имевших целью определение характеристик поля вибрации, обусловленной движением поездов и автомобильного транспорта по Метромосту и поездов по Андреевскому мосту окружной железной дороги. В средней части профиля вибрационное поле изменяется в незначительных пределах, оставаясь на уровне 35–40 дБ (скорость перемещения частиц $2,84 + 5,00 \cdot 10^{-6}$ м/с). Этот уровень можно считать фоновым, относительно которого выделяются участки повышенных значений виброскорости в окрестностях Метромоста и



Р и с. II. Результаты виброизмерений на территории Государственной библиотеки СССР им. В.И.Ленина (1988 г.). Составили А.Д.Жигалин, Г.П.Локшин

I, 2 - изолинии: I - уровня виброскорости, дБ; 2 - опускания дневной поверхности, мм; 3 - границы зон влияния метрополитена; 4 - контуры сооружений метрополитена



Р и с. I2. Измерения уровня вибрации на участке от Метромоста до Андреевского моста (1985 г.). Составили А.Д.Жигалин, Г.П.Локшин

Андреевского моста (59 и 50 дБ соответственно). Таким образом, можно сделать вывод о том, что движение поездов по Метромосту и Андреевскому мосту вызывает вибрацию, которая через опоры и другие элементы указанных инженерных сооружений передается на грунтовый массив.

Тепловое воздействие на геологическую среду. Тепловое загрязнение геологической среды в городах, т.е. существенное повышение ее температуры относительно некоторых нормальных (естественных) значений, представляется в настоящее время весьма серьезной проблемой. Согласно некоторым прогнозам, тепловое загрязнение к концу нашего столетия более чем в 2 раза превысит уровень начала 80-х годов и составит приблизительно 10^{12} кДж. Для сравнения следует указать, что количество тепла, ежегодно получаемое Землей от Солнца, составляет приблизительно 10^{21} кДж, а количество тепла, поступающего из недр планеты, равно приблизительно 10^{17} кДж/год.

Если сравнивать техногенные источники тепла (мощность 10^{12} кДж/год) с внутриземными источниками (мощность 10^{17} кДж/год), видно, что различие составляет пять порядков. Однако, хотя техногенные источники и занимают в настоящее время около 5 % территории суши, они, как правило, сосредоточены в ограниченном объеме заполненного горными породами пространства. Поэтому генерируемый ими тепловой поток оказывается сопоставимым с тепловым потоком, обусловленным наличием мощных планетарных источников тепла. Более того, в пределах территорий больших городов и городских агломераций суммарный тепловой поток из недр составляет всего около 28 % общего теплового потока города, тогда как 72 % теплового потока приходится на долю техногенеза, оказывающего существенное тепловое воздействие на окружающее литосферное пространство.

Тепловое загрязнение геологической среды городов, вызываемое предполагающимися на их территории объектами, функционирование которых обуславливает отклонение окружающих условий от тех, которые в соответствии с нормативными документами принято считать нормальными, проявляется в возникновении так называемого теплового купола под городом, на общем фоне которого формируются отдельные участки аномального прогрева грунта и грунтовых вод. Созданию теплового купола во многом способствуют сплошная застройка территории, покрытие асфальтом или бетоном грунтовой поверхности, т.е. такие мероприятия, которые препятствуют нормальной транспирации и нормальному теплообмену субстрата города с атмосферой.

Температурный режим верхней части литосферного пространства в пределах ареалов техногенного воздействия определяется, помимо природных факторов, наличием источников или поглотителей тепловой энергии. На территории большого города нарушение температурного режима может наблюдаться до глубины 100-150 м и более. При этом на средних по глубине горизонтах (10-30 м) наблюдается устойчивая тенденция к формированию и расширению по площади геометрических аномалий (с превышением

на 2-6° фоновых значений температуры горных пород и подземных вод) [79]. Максимальные изменения температуры наблюдаются в окрестностях глубоких выработок метрополитена, в зонах функционирования систем охлаждения с водообменом, на участках проложения теплотрасс и других коммуникаций. Под воздействием избыточного тепла происходит локальное просушивание грунтовой массы, приводящее к изменению ее механических свойств. Нагревание грунтовых вод способствует изменению их химизма, а следовательно, степени агрессивности по отношению к строительному материалу (например, бетону), металлу элементов конструкций и других подземных заложений. На участках аномального прогрева грунта и грунтовых вод возможно усугубление опасности коррозионного разрушения кабелей, трубопроводов и других подземных коммуникаций и заложений.

Конкретными источниками теплового загрязнения являются отдельные звенья или технологические элементы промышленных предприятий или предприятий бытового назначения, а также транспортные и коммуникационные туннели. Существенную роль в формировании общего фона теплового загрязнения играет сброс в открытые водоемы высокотемпературных отработанных технологических вод и бытовых стоков. Характеристики некоторых источников тепла приведены в табл. 10.

Изменения температурного поля, обусловленные влиянием теплообразующих объектов на геологическую среду, не распространяются на значительные расстояния, а затухают, как правило, в пределах первой сотни метров. Поэтому все источники температурного поля и связанного с его повышением теплового загрязнения могут быть локализованы и пространственное влияние их может быть учтено.

Наиболее распространенными в пределах городской территории и поэтому наиболее существенными источниками теплового загрязнения представляются магистральные теплопроводы и коммуникационные сети теплового водоснабжения.

Тепловое воздействие магистральных теплопроводов и коммуникаций теплового водоснабжения определяется потерями тепловой энергии во время транспортировки теплоносителя от источника к потребителям. В этом случае формируются, как правило, линейные зоны воздействия, ширина которых зависит от условий прокладки магистралей и от теплопроводности пород в месте заложения магистрали.

Результаты измерений показывают, что наличие теплопроводящих коммуникаций может серьезным образом нарушать температурный режим грунтовой толщи на значительную глубину [57, 58]. Речь идет об относительном превышении температуры на 8-10°C и более, что, не изменяя радикальным образом свойств твердой фазы горных пород, может влиять на состояние и свойства жидкой и газообразной фаз, на жизнедеятельность фито-и биоценозов, а также на характер протекания коррозионных процессов. Существенное значение имеет прогрев грунта в окрестностях теплопроводящих магистралей в зимний период. В случае мягкой зимы

засыпка магистралей остается в течение всего холодного периода в незамерзшем состоянии, дренирует прилегающие участки территории и может служить суффозионным каналом, через который осуществляется вынос частиц грунта.

Теоретические расчеты показывают, что тепловая энергия от теплопроводов распространяется достаточно быстро. Так, по прошествии одного года после введения в строй магистрального теплопровода при температуре в зоне соприкосновения его с грунтовой засыпкой, равной 100°C , вокруг него образуется область прогрева, размеры которой достигают в песчаных и глинистых грунтах приблизительно 2 и 10 м соответственно.

Длительное воздействие источников (или поглотителей) тепла нарушает, как уже говорилось выше, температурный режим в пределах грунтового массива, приводя в конечном итоге к нарушению работы агрегатов, рассчитанных на эксплуатацию в условиях нормальной температуры вмещающей породы и подземных вод, а также к изменению физико-механических свойств пород и коррозионной обстановки.

В настоящее время определено установлено, что температура коррозионной среды оказывает наибольшее из всех факторов влияние на скорость коррозии. В частности, скорость коррозии стали наиболее употребительных в строительной индустрии марок линейно возрастает при изменении температуры от 0 до 80°C .

Увеличение температуры грунтов и подземных вод активизирует жизнедеятельность микроорганизмов, являющихся агентами биокоррозии. При повышении температуры до $40-45^{\circ}\text{C}$ некоторые сульфатредуцирующие микроорганизмы (производящие в процессе жизнедеятельности серную кислоту) значительно быстрее размножаются, резко обостряя тем самым общую биокоррозионную обстановку.

Особый интерес представляют собой участки промораживания грунта при строительстве котлованов в оводненных грунтах, при прокладке трасс метрополитенов в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях. В зависимости от конфигурации контура промораживания формируются объемные, площадные или линейные зоны воздействия холодом. Ширина зон сплошного промерзания составляет, как правило, несколько метров.

Поскольку температура хладоносителя варьирует от -10 до -26°C , грунт в зоне промораживания существенным образом изменяет свои свойства, причем в значительной мере это касается водонасыщенных грунтов. Воздействие переохлажденного массива грунта на прилегающие массы грунта, оставшегося в обычном состоянии, по времени превышает сроки проведения строительства. Этот период времени затягивается, если оттаивание замороженного грунта идет естественным путем. По мере оттаивания грунт вновь обретает свои первоначальные свойства и через некоторое время весь массив грунта качественно восстанавливается. Однако в течение периода промораживания и удержания грунта в замороженном состоя-

нии нарушаются сложившиеся режимы водонасыщения, массо- и теплообмена, а также фито-и биоценозов.

Сбросы нагретых технологических и бытовых вод в открытые водоемы на территории города не играют существенной роли в формировании теплового загрязнения геологической среды, хотя и влияют на качественную сторону среды обитания. Это объясняется тем, что в открытых водоемах теплообмен осуществляется в основном конвективным способом и весь излишек привнесенного тепла переходит в атмосферу, если водоем имеет большое по площади зеркало водной поверхности, или переносится с водой, если сброс осуществляется в реку. Таким образом, прогрета субстрата практически не происходит.

Иная картина наблюдается в том случае, когда сброс отработанных горячих вод происходит через скважины в глубокие горизонты. В этом случае, помимо конвективной передачи тепловой энергии, наблюдается также кондуктивный теплообмен между горячими технологическими и бытовыми отходами и вмещающими породами. Последствия этого явления уже рассматривались выше.

Изучение температурного режима геологической среды и наблюдение за его изменением целесообразно проводить на двух уровнях. Необходимы глубинные температурные измерения в скважинах, позволяющие непосредственно на интересующей нас глубине оценивать изменения температурного режима. Этот способ анализа температурного поля известен давно и повсеместно широко используется. При большом количестве достоинств такой способ изучения температурного режима геологической среды обладает одним существенным недостатком — для его реализации необходима постоянно действующая сеть наблюдательных скважин. Невозможность или существенные трудности создания такого рода сети, пригодной для проведения многократно повторяющихся циклов наблюдений, значительно обедняют информацию, отображающую тепловое состояние геологической среды в пределах городских территорий.

Проведение температурных измерений вблизи дневной поверхности освобождает от необходимости иметь равномерную сеть глубоких наблюдательных скважин, поскольку существуют приборы (например, серийно выпускаемый электронный термометр ТЭТ-2), позволяющие проводить измерения температуры на глубине до 1,5 м. При правильной с методической точки зрения постановке работы (подразумевается учет изменения температуры воздуха вблизи поверхности земли в течение всего времени проведения измерений, идентичность условий измерения и т.п.) общая картина пространственного распределения температурного поля в приповерхностном слое литосферного пространства (геологическая среда) получается достаточно достоверной. При этом можно быть уверенным, что исследуемое таким образом температурное поле отображает температурный режим геологического субстрата до глубины, достигающей 10-12 м. Используя подобного рода приповерхностные (до глубины в 1 м их можно считать поверхностными, если проводить измерения на значительных

по площади участка городской территории) измерения температуры, можно оценивать степень теплового воздействия на геологическую среду со стороны магистралей и коммуникаций теплового водоснабжения, отдельных тепловыделяющих объектов.

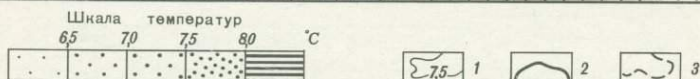
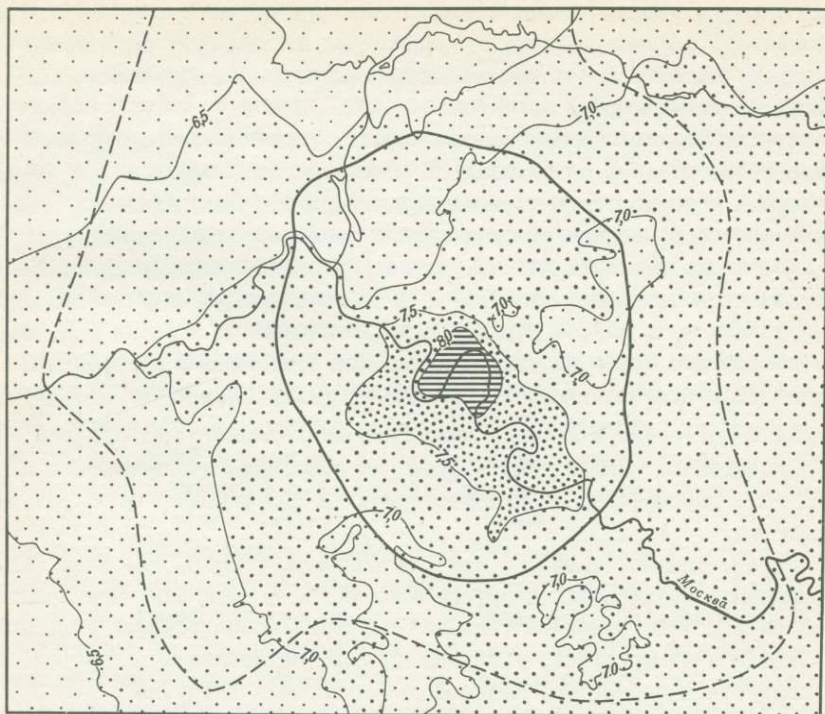
Как модификацию поверхностного способа изучения температурного режима геологической среды следует рассматривать инфракрасную съемку дневной поверхности с летательных аппаратов. Положительный опыт выделения с использованием специальной тепловизионной аппаратуры так называемых тепловых пятен, соответствующих аномально прогретым участкам геологического субстрата, аномально прогретым участкам акваторий вблизи мест сброса горячих технологических и бытовых вод, наряду с неоспоримо более высокой в сравнении с наземными измерениями производительностью делает такой способ оценки теплового состояния геологической среды и установления наличия теплового загрязнения весьма перспективным. Привлекает в этом способе также и возможность получения интегральной тепловой характеристики для определенного участка территории.

Следует, однако, указать, что для большого города, где сами здания, промышленные предприятия и другие инженерные сооружения могут оказаться объектами — источниками тепловой энергии, использование инфракрасной съемки с аппаратурой, установленной на летательных аппаратах, может привести к потере необходимой детальности и затруднить решение некоторых конкретных задач.

С точки зрения изучения изменений температурного режима геологической среды на территории Москвы представляют интерес результаты наблюдений эволюции геотемпературного поля Москвы за период 1891—1975 г. [79]. Анализ фактического материала однозначно показывает, что в пределах Москвы и ближайших ее окрестностей наблюдается постоянный рост среднегодовой температуры пород с насыщающими их подземными водами от поверхности до глубины более 30 м.

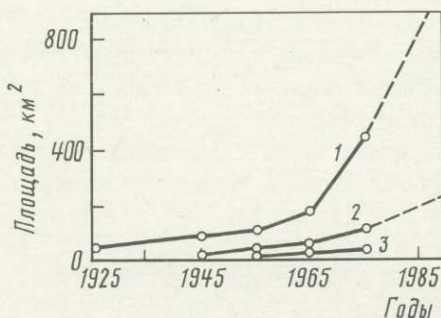
Схема изотерм среднепогодных температур почвы в интервале 1,6—3,2 м за период 1891—1963 г. (рис. 13) показывает, что при фоновой температуре грунта, равной приблизительно 7°C , в черте города наблюдается ряд устойчивых аномалий повышенных значений температуры, которые обусловлены существованием города. Влияние города на формирование температурного режима пород и подземных вод хорошо заметно при анализе данных увеличения площади геотермоаномалий на территории Москвы на глубине 10—30 м (табл. 13). При сохранении такой тенденции роста к 1990 г. на всей территории Москвы температура пород и подземных вод на глубине до 30 м может превысить 8°C (рис. 14).

Таким образом, установленный факт быстрого роста температуры горных пород и подземных вод в центральной части города, в 10—20 раз превышающего изменение температуры в периферийных частях, свидетельствует о том, что тепловое "загрязнение" недр Москвы происходит главным образом за счет утечек тепла в объеме геологической среды. Это



Р и с. 13. Схема изотерм среднегоголетних температур почвы в интервале 1,6-3,2 м за период 1891-1963 гг. [79]

1 - геоизотермы; 2 - границы Москвы (кольцевая автодорога); 3 - граница лесопарковой зоны



Р и с. 14. Увеличение площади геотермоаномалий в пределах Москвы [79]
Температура пород, °C: 1 - > 8, 2 - > 10, 3 - > 12. Пунктиром показаны прогнозируемые данные

Т а б л и ц а 13. Увеличение площади геотермоаномалий по годам на территории Москвы на глубине 10-30 м, км² [79]

Температу- ра	1925 г.	1945 г.	1955 г.	1965 г.	1975 г.
> 8°C	30	80	100	170	430
> 10°C	-	5	30	50	100
> 12°C	-	-	5	15	25
> 14°C	-	-	-	-	10

подтверждается также и тем, что минимальные изменения температуры горных пород и подземных вод фиксируются вблизи границы города, а максимальные — в центре его и вдоль трасс метрополитена. По прогнозным данным, к концу текущего десятилетия вся территория Москвы в пределах современной ее границы станет в гидрогеотермическом отношении аномальной.

Оценка состояния геологической среды в условиях теплового воздействия зачастую представляется затруднительной, что в первую очередь обусловлено неоднозначностью подхода к вопросу о состоянии среды вообще.

Рассматривая состояние геологической среды в триадном коде — нормальное, удовлетворительное и неудовлетворительное, трудно определить, какое из реальных состояний геологической среды соответствует тому или иному кодовому названию состояния. Это объясняется слишком большими различиями пределов изменения температуры горных пород и подземных вод, лимитирующих изменения механических свойств пород и условия существования фито-и биоценозов. Кроме того, критериальная основа для установления температурных границ интервалов в ряде случаев еще недостаточно разработана. Выходом из затруднительного положения может служить составление схематических карт теплового воздействия отдельно для фитоценозов, биоценозов и горных пород с учетом конечной цели проводимых исследований.

Таким образом, на данном этапе развития методики оценки температурного режима геологической среды речь может идти в основном о качественном и сравнительном сопоставлении отдельных участков друг с другом по характерным особенностям распределения температурного поля и о выделении аномальных зон, обусловленных наличием объектов — источников тепловой энергии. И в этом аспекте составление тепловой карты городской территории следует считать весьма полезным с точки зрения представления информации, необходимой градостроителям.

Электрическое поле олуждающих токов и оценка электрического воздействия. Основным фактором, определяющим продолжительное и безаварийное функционирование подземных устройств, сооружений и коммуникаций, является их коррозионная устойчивость, т.е. способность противостоять коррозии, одной из существенных разновидностей которой с точки зрения разрушительной силы является электрокоррозия.

Широкое использование электрической энергии в городском хозяйстве и на транспорте неизбежно сопровождается значительными утечками электрического тока в грунт в окрестностях энергоустановок, силовых тяговых подстанций и т.п. Это явление можно определить как электрокоррозионное загрязнение геологической среды. Состояние и свойства грунта как коррозионной среды являются факторами, определяющими инженерно-геологическое качество геологической среды городов.

Одним из существенных факторов, характеризующих интенсивность взаимодействия инженерных сооружений и грунта, в котором они находятся, является электрическое поле, обусловленное блуждающими токами. Поле это локализовано в пространстве, окружающем источник блуждающих токов, а закономерности его распространения обусловлены, с одной стороны, параметрами источника (геометрической формой и размерами, силой протекающего тока, переходными сопротивлениями, степенью защищенности от возможности стекания тока), а с другой – электрическими характеристиками вмещающего грунта и главным образом его удельным электрическим сопротивлением.

Блуждающие токи в земле обязаны своим происхождением электрифицированному железнодорожному транспорту (а в городах, помимо этого, трамваю и метрополитену), линиям высоковольтных электропередач, кабельным сетям, распределительным и трансформаторным подстанциям, установкам высокого напряжения, электрогенераторам и промышленным электросиловым установкам, а также установкам противокоррозионной электрической защиты (см. табл. 10). Поля, генерируемые блуждающими токами, существенно локальны и характеризуются достаточно высокими значениями параметров (см. табл. 9). Так, в частности, напряженность поля блуждающих токов может изменяться от 0,01 до 1000 В/м, а само поле чувствуется на расстоянии от 0,1 до 10 км от источника. Для сравнения можно привести соответствующие данные для теллурических токов – электрической составляющей естественного электромагнитного поля Земли. Напряженность поля теллурических токов изменяется от 10^{-6} до 10^{-5} В/м, а область распространения составляет величину 10^4 – 10^5 км [72].

Сочетание высокой плотности энергии с ограниченностью распространения в пространстве ставит блуждающие токи в ряд основных факторов техногенного физического загрязнения геологической среды, оказывающих существенное воздействие на верхние слои литосферного пространства урбанизированных территорий. Блуждающие токи, как правило, наиболее заметно проявляются там, где подземные сооружения, коммуникации и другие инженерные объекты располагаются с наибольшей плотностью, причем многие из них сами являются источниками блуждающих токов.

В силу этого их воздействие на геологическую среду, являющуюся для блуждающих токов средой-носителем, может быть в ряде случаев весьма существенным. Воздействие это выражается в изменении одного из важных показателей инженерно-геологического состояния среды – ее

коррозионной активности, если при этом рассматривать в качестве коррозионной активности не только химический состав и температуру этой среды, но и тот уровень плотности блуждающих токов, увеличение которого повышает опасность возникновения электрокоррозии или ускоряет ее течение. Изменение коррозионной обстановки, усугубление ее и тем самым повышение опасности коррозии металлических и железобетонных инженерных конструкций и коммуникаций представляют собой наиболее важное следствие существования в геологической среде урбанизированных территорий поля блуждающих токов.

Наиболее распространенный и мощный источник блуждающих токов — это электрифицированный рельсовый транспорт, который, работая на постоянном токе, оказывает коррозионное воздействие токами, ответвляющимися от рельсов в землю из-за несовершенства изоляции. Блуждающие токи натекают на находящиеся в грунтовой толще металлические сооружения, так как удельное сопротивление металла во много раз меньше удельного электрического сопротивления вмещающих пород.

Процесс коррозии блуждающими токами протекает в три стадии: 1) процесс натекания тока на сооружение; 2) протекание тока по сооружению; 3) стекание тока с сооружения в землю. Большую роль на первой и третьей стадиях процесса коррозии блуждающими токами играет переходное сопротивление. Чем оно меньше вблизи источника тока, тем большая часть тока от источника натекает на инженерное сооружение и начинает течь по нему. В то же время, чем меньше переходное сопротивление на участке стекания тока с сооружения, тем выше плотность стекающего тока и тем интенсивнее протекает процесс коррозии. В том месте, где блуждающие токи входят в металл инженерного сооружения, они вызывают его катодную поляризацию (образуется катодная зона), а в месте выхода — анодную поляризацию (образуется анодная зона), что сопровождается разрушением и выносом металла конструкций подземного сооружения. Соотношение величин переходного сопротивления играет достаточно существенную роль, и этот параметр представляет собой один из критериев при оценке коррозионной активности среды (табл. I4).

Т а б л и ц а I4. Параметры, характеризующие коррозионную активность среды

Коррозионная активность	Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м	Потеря массы образца, г	Плотность поляризующего тока, А/м ²
Низкая	Свыше 100	До I	До 0,5
Средняя	20-100	I-2	0,5-2,0
Повышенная	10-20	2-3	2,0-3,0
Высокая	5-10	3-4	3,0-4,0
Весьма высокая	До 5	Свыше 4	Свыше 4,0

На инженерные сооружения "натекают" сотни ампер блуждающих токов, а стекать они могут лишь в местах повреждения изоляций. Это приводит к тому, что плотность стекающих токов в отдельных конкретных случаях может быть очень велика. Технические нормативные документы устанавливают верхний допустимый предел плотности стекающего тока $7,5 \cdot 10^{-2}$ А/м². В то же время экспериментальный материал, накопленный в процессе эксплуатации подземных металлических сооружений и трубопроводов, а также при проведении исследований процесса коррозии, показывает, что верхним пределом наиболее вероятной величины реально наблюдаемой плотности блуждающих токов является 10 А/м², тогда как опасность коррозии возникает уже при плотности стекающих токов, превышающей $5 \cdot 10^{-2}$ А/м², т.е. в 200 раз меньшей.

Таким образом, основным инженерно-геологическим критерием опасности коррозии, вызываемой блуждающими токами, является наличие анодных зон на подземных сооружениях при сопротивлении вмещающих пород менее 100 Ом·м и при плотности стекающего тока, превышающей $7,5 \cdot 10^{-2}$ А/м².

Исследование поля блуждающих токов посредством изучения характера распределения электрических потенциалов и оценки величины удельного электрического сопротивления грунтов в окрестностях существующих или проектируемых сооружений и магистралей, предусмотренное нормативными документами, проводится преимущественно с целью оценки степени уже имеющейся опасности электрокоррозии в отношении указанных объектов. При этом основным критерием оценки степени опасности электрокоррозионного воздействия вмещающей среды на подземное инженерное сооружение является плотность электрического тока, стекающего с подземного сооружения в окружающий его грунт. Задача ее определения является многоплановой, и правильность ее решения зависит от целого ряда трудно учитываемых факторов, в том числе таких, как локальная неоднородность грунтового массива.

Отсутствие сведений о характере распределения поля блуждающих токов и плотности стекающего тока вынуждает проводить инженерные расчеты с учетом максимально возможной коррозионной опасности даже в том случае, когда в этом нет особой необходимости. Теоретические расчеты с учетом представления наиболее часто встречающихся источников блуждающих токов либо точечными, либо линейными источниками показывают, что при увеличении удельного электрического сопротивления грунта происходит возрастание напряженности поля. По мере удаления от источника напряженность поля в случае точечного источника блуждающих токов убывает медленнее, чем в случае линейного источника.

Расчеты позволяют учитывать, кроме того, границы зон различной степени коррозионной опасности. Наряду с натурными наблюдениями они показывают, что в грунтах с малым электрическим сопротивлением поле блуждающих токов локализуется в пределах небольшого по площади пространства на расстоянии нескольких метров от источника. В грунтах

с низкой электропроводностью поле блуждающих токов может наблюдаться на расстоянии до нескольких километров от источника, например от линии электрифицированной железной дороги. При этом ширина зоны максимальной и безусловной коррозионной опасности составляет приблизительно 1,5 м с каждой стороны полотна железной дороги (считая от внешнего рельса). Что же касается ширины зоны потенциальной опасности электрокоррозионного поражения находящихся в грунте металлических конструкций, то оно составляет в целом от 3 до 10 км в зависимости от "мощности" источника блуждающих токов. В частности, для трамвая и метрополитена общая ширина зоны потенциальной коррозионной опасности составляет приблизительно 5 км, а для электрифицированных железных дорог — 10 км. За пределами указанных зон электрокоррозионная опасность практически отсутствует.

Расчетные данные позволяют оценить размеры зон различной степени электрокоррозионной опасности, не давая, однако, возможности детально проанализировать коррозионную обстановку с учетом наложения полей блуждающих токов, обусловленных одновременным существованием большого числа различных источников. В то же время установление границ зон разной степени электрокоррозионного влияния и определение детальных характеристик распределения поля блуждающих токов необходимо для оптимального планирования инженерно-хозяйственной деятельности в городах, в частности для рационального проектирования подземных сооружений и коммуникаций, а также для организации деятельного контроля за их состоянием.

Изменение коррозионных условий вследствие влияния электрического поля блуждающих токов можно считать критерием при оценке состояния геологической среды в условиях техногенного воздействия. За основу при выборе количественных показателей степени изменения коррозионных условий, т.е. степени коррозионной опасности для металлических конструкций инженерных сооружений, трубопроводов и других коммуникаций, которыми изобилует подземное пространство современного города и для которых геологическая среда является вмещающей средой, целесообразно принимать скорость электрохимической коррозии, численно выражающуюся в скорости проникновения коррозионного процесса в глубину металла конструкций, оболочек или труб и измеряемую в миллиметрах за год. Оценку воздействия следует проводить, ориентируясь на самые уязвимые элементы городского хозяйства, а именно на трубопроводы различного бытового назначения, не оборудованные системами противокоррозионной электрической защиты.

Электрическое воздействие на геологическую среду при наличии блуждающих токов целесообразно подразделять по силе на три уровня воздействия: низкий, средний, высокий. Для количественной оценки электрического воздействия применительно к изменению коррозионных условий возможно использовать данные о сроках службы городских подземных трубопроводов, распространяя эти данные на все незащищенные металли-

ческие элементы конструкций. В качестве исходного параметра следует брать средний нормативный срок службы городских подземных трубопроводов.

Толщина стенок труб городских трубопроводов, теплосетей, а также водопроводных и коммуникационных сетей составляет 2-4, 2-7 и 2-3,8 мм соответственно. При этом преобладают трубы с толщиной стенок 2 мм и более. Таким образом, целесообразно для определенности количественных оценок принять минимальную толщину стенок труб городских подземных трубопроводных магистралей, равную 2 мм. Срок службы трубопроводов без замены установлен равным в среднем 10 годам. Следовательно, можно считать, что скорость коррозии стальных труб не должна превышать 0,2 мм/год.

Низкий уровень воздействия соответствует такому воздействию, при котором срок безаварийной службы городских трубопроводов сокращается не более, чем на 20 %. В соответствии с этим увеличение скорости коррозии вследствие воздействия не переходит предела 0,4 мм/год. При среднем уровне воздействия скорость коррозии увеличивается до таких пределов, когда ее значение достигает величины 0,4-1,0 мм/год, т.е. срок безаварийной службы трубопроводов сокращается практически вполнину. При высоком уровне воздействия скорость коррозии возрастает до 1,0-2,0 мм/год, т.е. сроки безаварийной службы трубопроводов сокращаются на порядок.

Как видно, каждому интервалу деления соответствует определенный диапазон изменения скорости коррозии, что регламентируется плотностью поляризующего тока, плотностью тока, протекающего в окрестностях объекта, и напряженностью электрического поля, являющейся в данном случае индикаторным признаком, указывающим на сам факт существования электрического загрязнения (табл. 15).

Т а б л и ц а 15. Электрические характеристики коррозионной обстановки

Уровень воздействия	Скорость коррозии стали, мм/год	Плотность поляризующего тока, А/м ²	Плотность тока в окрестностях объекта, 10 ⁻⁴ А/м ²	Напряженность поля, 10 ⁻³ В/м
Низкий	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2-0,3	0,8-1,2
Средний	0,4-1,0	0,4-0,9	0,3-0,9	1,2-3,6
Высокий	1,0-2,0	0,9-1,7	Более 0,9	Более 3,6

П р и м е ч а н и е. Удельное электрическое сопротивление грунта принято равным 40 Ом·м.

Из табл. 15 следует, что низкий уровень электрического воздействия на геологическую среду реализуется при плотности тока в ней от 0,2·10⁻⁴ до 0,3·10⁻⁴ А/м², средний уровень - от 0,3·10⁻⁴ до 0,9·10⁻⁴ А/м²

и высокий уровень — при плотности тока, превышающий $0,9 \cdot 10^{-4}$ А/м². При плотности тока до $0,2 \cdot 10^{-4}$ А/м² техногенное электрическое воздействие можно считать отсутствующим.

Оценка техногенного электрического воздействия на геологическую среду в городах может осуществляться двумя способами.

Первый вариант предусматривает изучение характера распределения электрического поля вблизи конкретных источников, таких, как электрифицированные железные дороги, распределительные пункты сети электро-снабжения, заземления станций катодной защиты и т.п., с определением границ зон различного уровня воздействия и отображением их картографически. Второй вариант предполагает равномерно распределенные по площади исследуемого участка измерения напряженности постоянной составляющей электрического поля, позволяющие выявить в пределах интересующей территории аномальные зоны, которые можно интерпретировать в терминах коррозионной обстановки. Первый из указанных вариантов оценки техногенного воздействия допускает использование теоретических расчетов при определении количественных характеристик воздействия. Например, зная конфигурацию заземления станции катодной защиты и ее технические характеристики, можно рассчитать электрическое поле в окрестностях заземления и провести оценку на основании этих расчетов.

Измерение напряженности электрического поля непосредственно на исследуемом участке предполагает знание (или выяснение) характера распределения величины удельного электрического сопротивления пород на заданной глубине. Это необходимо для определения плотности тока в окрестностях сооружения, которая является одним из оценочных критериев уровня электрического воздействия. В настоящее время трудно отдать предпочтение какому-либо из двух указанных вариантов, поскольку использование их порознь или совместно обуславливается конечной целью исследований и техническими и технологическими возможностями исследователей.

В соответствии с уровнем электрического воздействия следует определить состояние геологической среды. При отсутствии воздействия или низком его уровне состояние геологической среды при наличии блуждающих токов можно считать нормальным, удовлетворительным — когда имеет место воздействие блуждающих токов, характеризующееся средним уровнем, неудовлетворительным — при высоком уровне электрического воздействия. Рассмотренные положения являются основой для составления карт-схем техногенного электрического воздействия и состояния геологической среды при наличии этого воздействия.

Электрическое воздействие на геологическую среду оценивается по изменению степени потенциальной коррозионной опасности в связи с существованием электрического поля блуждающих токов. Степень потенциальной коррозионной опасности, в свою очередь, напрямую зависит от коррозионной активности грунтов. Сопоставление данных о коррозион-

ной активности грунтов с различными характеристиками, определяющими инженерно-геологические условия, показало, что наиболее тесные корреляционные связи просматриваются между коррозионной активностью грунтов и их литологическим составом, а также наличием подтопления. Существует зависимость коррозионной активности грунтов и от химического состава содержащейся в них воды, от температуры грунтового массива в целом. Логично предположить наличие связи коррозионной активности грунтов с существованием электрического поля блуждающих токов.

Потенциальная коррозионная опасность оценивается в трех интервалах, отвечающих низкой, средней и высокой степени опасности. Мерой для установления границ интервалов служит найденное для каждого участка соотношение количества определений с высокой, средней и низкой коррозионной активностью грунтов. В упрощенном виде схема определения средней величины коррозионной активности грунта при условии представления исследуемого участка совокупностью равновеликих квадратов, в целом отвечающей его площади, выглядит следующим образом. Все величины коррозионной активности суммируются с соответствующим эмпирически установленным весовым коэффициентом (для низкой коррозионной активности весовой коэффициент равен 25, для средней и высокой — 50 и 75 соответственно), и сумма делится на общее количество определений. Математически указанная операция отображается следующим соотношением:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^3 n_i I_i}{\sum_{i=1}^3 n_i},$$

где K — мера коррозионной активности грунта; n_i — количество определений с одинаковой коррозионной активностью; I_i — весовой коэффициент.

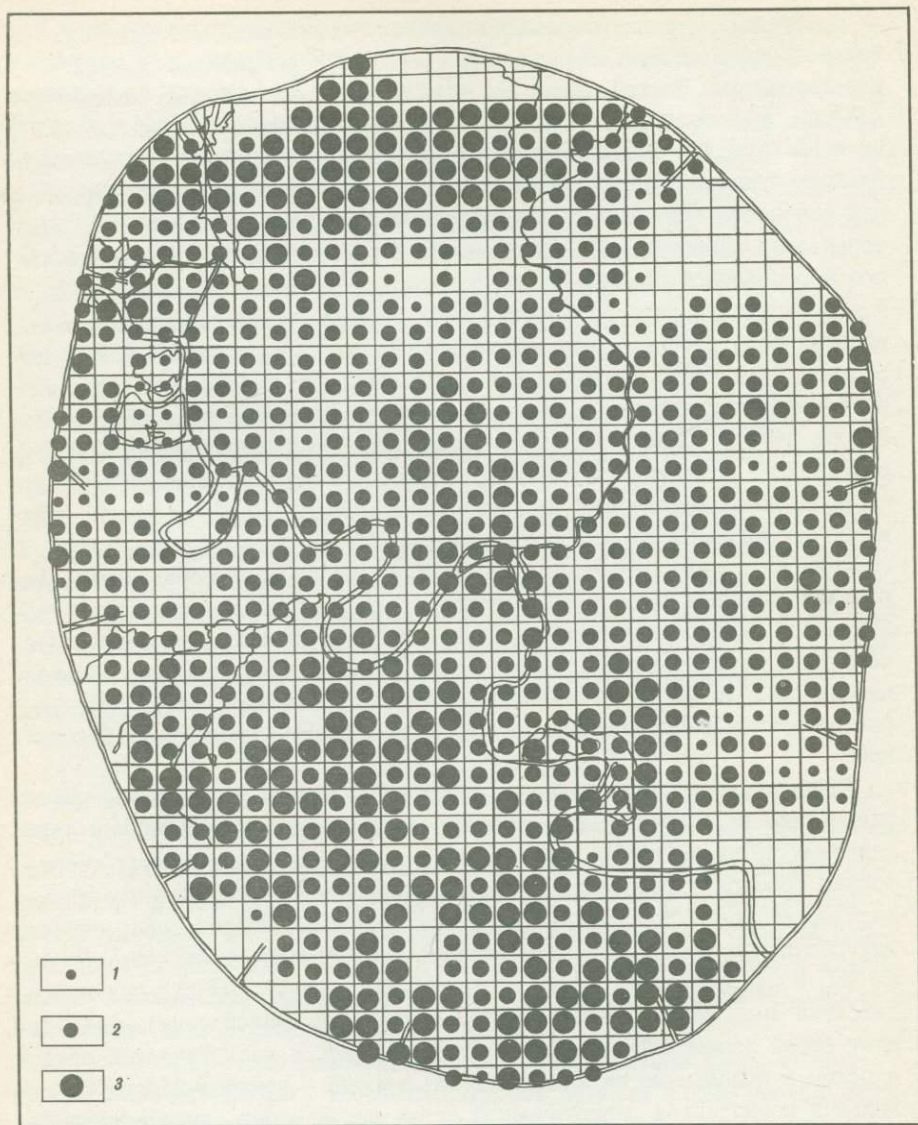
При преобладании определений с высокой степенью коррозионной активности грунтов ($K > 50$) потенциальная коррозионная опасность считается высокой. При отсутствии определений с высокой и средней коррозионной активностью ($K = 25$) степень коррозионной опасности низкая. Для всех остальных случаев ($25 < K \leq 50$) степень потенциальной коррозионной опасности характеризуется как средняя.

Количественным отображением степени потенциальной коррозионной опасности может служить скорость коррозии металла находящихся в грунте труб, конструкций и т.п. (см. табл. 15). Низкой степени потенциальной коррозионной опасности отвечает такая коррозионная активность грунта, при которой скорость коррозии металла не превышает 0,2–0,4 мм/год. При высокой степени коррозионной опасности коррозионная активность грунта "обеспечивает" скорость коррозии металла 1,0–2,0 мм/год и более. При скорости коррозии металла 0,4–1,0 мм/год коррозионная активность грунта отвечает среднему уровню потенциальной коррозионной опасности. Таким образом, скорость коррозии металла в грунте может служить критерием для количественной оценки уровня электрического воздействия на геологическую среду и изменения коррозионной обстановки.

Составленная с использованием рассмотренных выше методических приемов схема оценки степени потенциальной коррозионной опасности для территории Москвы (рис. 15) показывает, что основная часть территории представляет собой область с преобладанием средней (62 % от всей площади, занятой городом) и высокой (24 %) степени опасности. На долю отдельных разрозненных участков, с низкой степенью коррозионной опасности приходится лишь незначительная часть (около 5 %) общей территории. Участки, характеризующиеся высокой степенью потенциальной коррозионной опасности, располагаются на севере, в центре, на юге и юго-западе территории Москвы [20]. Связать такой характер пространственного распределения коррозионных свойств геологической среды с одним каким-либо фактором или с ограниченным набором факторов оказывается затруднительным, поскольку этот вопрос еще недостаточно хорошо изучен. Однако можно констатировать, что наблюдаемые пространственные изменения степени потенциальной коррозионной опасности (коррозионной активности грунтов) хорошо соотносятся со схемой инженерно-геологического районирования территории Москвы [12]. Анализ имеющихся данных показывает, что в пределах занятой городом территории коррозионная активность грунтов, а следовательно, и степень коррозионной опасности зависят в первую очередь от литологического состава грунтов и наличия или отсутствия подтопления. Участки, отмечаемые на рис. 15 как зоны высокой степени коррозионной опасности, характеризуются распространением моренных и флювиогляциальных отложений.

Таким образом, искусственные физические поля и создаваемое ими физическое загрязнение представляют собой весьма мощный фактор воздействия человека на геологическую среду на урбанизированных территориях городов и городских агломераций. Физическое загрязнение геологической среды прослеживается в трех видах взаимодействия, отвечающих различным этапам передачи сигнала воздействия от объекта-источника через геологическую среду к объекту-реципиенту. Первый вид взаимодействия (его можно считать этапом первичного воздействия) представляет собой взаимодействие объектов-источников с геологической средой в целом и отдельными ее компонентами; второй - взаимодействие отдельных компонентов геологической среды между собой, происходящее в условиях техногенного физического воздействия и характеризующееся в силу этого рядом особенностей; третий - взаимодействие геологической среды или отдельных составляющих ее элементов с инженерными объектами, для которых геологическая среда является основанием или вместилищем (отвечает этапу вторичного воздействия в той или иной мере измененной геологической среды на объекты-реципиенты).

Прослеживание всех этапов передачи техногенного физического воздействия от источников к воспринимавшим это воздействие объектам, будь это сама геологическая среда (или отдельные ее компоненты) или инженерные сооружения, находящиеся в геологической среде, позволяет



Р и с. 15. Схема оценки потенциальной коррозионной опасности. Составили А.Д.Жигалин, Н.С.Просунцова [22]

Степень опасности: 1 - низкая, 2 - средняя, 3 - высокая

оценить роль искусственно создаваемых в процессе человеческой деятельности физических полей в общем изменении инженерно-геологических условий городских территорий. Без должного анализа влияния техногенного физического воздействия на формирование качества геологической среды урбанизированных территорий нельзя ни давать достоверных прог-

нозных оценок, ни составлять рабочие схемы рационального использования геологической среды городов.

Взаимодействие природной и техносоциальной подсистем в городе

Город является динамической системой, состоящей из сложно организованных, иерархически построенных подсистем. Система "город" развивается в ходе процессов взаимодействия между подсистемами и самой системы с окружающей ее средой. Все элементы города – сложно организованные целостные образования, в которых геологическая среда представляет динамичный компонент. При этом соответствующий блок геологической среды может быть связан одновременно с несколькими блоками техносферы и социосферы, в то же время испытывать воздействия от одних блоков и оказывать свое воздействие на другие. С позиций системного подхода, учитывая целостность элементов города и механизма происходящих в них процессов, геологическая среда является и компонентом разновременных геоэкосистем и геотехноэкосистем.

Система "город" характеризуется рядом особенностей. В ней прослеживаются наиболее тесные взаимодействия между экономикой, населением, социальными отношениями и природой. Подсистема, включающая промышленные и гражданские сооружения, – основная часть пространственной организации общества. Сконцентрированные на сравнительно ограниченной территории градопромышленных комплексов и взаимодействующие между собой, эти сооружения обуславливают разнообразные изменения геологической среды, которые часто оказываются неблагоприятными не только для состояния и функционирования самих сооружений, но и для здоровья и деятельности человека.

Основные особенности системы "город" с позиций взаимодействия элементов и компонентов системы с геологическим компонентом следующие:

1) Исключительное разнообразие параметров сооружений – от уникальных высотных зданий и крупнейших заводов до типовых гаражей, трансформаторных подстанций и т.п.

2) Относительная плотность размещения сооружений (особенно в районах старой застройки).

3) Ограниченность площади обуславливает необходимость строительства зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения в неблагоприятных условиях.

4) Объекты промышленного назначения в наибольшей мере в рамках системы "город" совпадают с постоянной средой обитания человека. Отсюда особая ответственность за высокий уровень безопасности членов общества при проявлении опасных инженерно-геологических и природных процессов, за экологическую чистоту среды обитания (ликвидацию или снижение химического и физического загрязнения, предотвращение негативной трансформации геологической среды), достижение которых во многом определяется качеством и уровнем использования инженерно-геологической информации, влияющей на уровень проектирования, строительства и эксплуа-

тации сооружений. Экологическая ответственность при проектировании, строительстве и эксплуатации элементов системы "город" повышается и за счет того, что эти элементы включают быстро изменяющиеся компоненты биосферы.

5) Жизненный цикл материально-технических объектов города сравнительно короток, с этим связаны повышенные требования к их надежности, безаварийной эксплуатации, сохранению плановой длительности межремонтных циклов.

Массовый характер промышленного и гражданского строительства выдвигает требования к его экономичности, а также к экономичности изысканий и проектирования. В связи с этими особенностями перед инженер-геологами встает две задачи: 1) соответствующее информационное обеспечение нового проектирования и строительства; 2) участие в обосновании своевременного ремонта существующих зданий и сооружений, улучшения условий их эксплуатации. Расчеты показывают, что продление срока службы каждого производственного здания на 3-4 года при функциональном износе до 25 лет и физическом 60-80 лет позволяет сэкономить до 3 % общих ежегодных капиталовложений по СССР. Следовательно, повышение эксплуатационной надежности зданий позволяет повысить эффективность капитальных вложений.

6) Существенные негативные последствия, проявляющиеся в социотехносфере, вызываются техногенными изменениями геологической среды. Оценка таких последствий возможна при установлении значимости отдельных воздействующих факторов и степени их распространения.

Изучение взаимодействий геологической среды и социотехносферы осуществляется по нескольким направлениям: исходное состояние геологической среды, техногенные изменения геологической среды, "отклики" (изменения состояния объектов социотехносферы). Оно предусматривает выявление значимости отдельных воздействующих (ущербообразующих) факторов, для чего может быть применена экспертная оценка. Ниже приводится пример такой оценки.

В экспертной оценке актуальной и потенциальной ущербообразующей роли геологических и инженерно-геологических процессов на территории Москвы участвовали 18 экспертов - инженер-геологов. Результаты анкетирования обрабатывались в основном стандартными методами непараметрической статистики. Расчеты проводились с помощью пакета статистических программ ВМДР-77 Калифорнийского университета на ЭВМ-1054 НИВЦ МГУ.

В табл. 16 представлены средние значения оценок актуальной ущербообразующей роли процессов и их ранг (минимальный ранг соответствует минимальной ущербообразующей роли). Расчеты по критерию Фридмана показали, что вероятность оценки для всех экспертировавшихся процессов $P = 0,0001$ (принимая χ^2 - распределение). Критерий Уилкоксона позволяет выделить соответственно три группы процессов с уровнем значимости различий между процессами из разных групп $P < 0,1$.

Т а б л и ц а 16. Средние значения оценок актуальной ущербобразующей роли процессов

Группа	Процессы	Средний ранг	Средняя оценка
I	Карстово-суффозионные	12,85	2,2
	Электрокоррозия	12,6	2,1
	Химическое загрязнение	12,36	2,3
	Подтопление	11,5	2,1
II	Оползневые	8,95	1,6
	Вибрация	8,95	1,6
	Оседание грунтов	8,7	1,5
	Эрозия	8,25	1,4
	Осушение грунтов	7,9	1,3
	Заболачивание	7,8	1,4
	III	Набухание	5,75
	Крип	5,55	0,9
	Морозное пучение	5	0,8

Аналогичные расчеты потенциальной ущербобразующей роли процессов (на период до 2010 г.) дали уровень значимости по критерию Фридмана $P < 0,0001$. Средние оценки и ранги приведены в табл. 17. Критерий Уилкоксона позволяет выделить в этом случае три группы процессов ($P < 0,1$).

Т а б л и ц а 17. Средние значения оценок потенциальной ущербобразующей роли процессов

Группа	Подгруппа	Процессы	Средний ранг	Средняя оценка	
I	1	Карстово-суффозионные	16,1	2,58	
		Подтопление	14,15	2,33	
	2	Химическое загрязнение	13,9	2,33	
		Электрокоррозия	13,85	2,17	
		3	Оползневые	12,4	1,92
			Техногенное оседание	12,25	1,92
			Вибрация	12,25	1,92
	Осушение грунтов	11,15	1,67		
II	-	Эрозия	9,05	1,33	
		Заболачивание	8,5	1,33	
III	-	Набухание	6,8	1	
		Крип	6,6	1	
		Морозное пучение	5,7	0,83	

Таким образом, согласно экспертному прогнозу, при сохранении существующих тенденций взаимодействия техносферы и геологической среды на

территории Москвы значительно увеличится ущербобразующая роль подтопления, сохранится высокий вклад в ущербобразование карстово-суффозионных процессов, химического загрязнения и коррозии. Кроме того, возрастает ущербобразующая роль техногенного оседания (уровень значимости по критерию Манна-Уитни $P = 0,07$), вибрации ($P = 0,08$), техногенного осушения грунтов ($P = 0,09$). Для других процессов различия в экспертных оценках актуального и потенциального ущербов незначительны и недостоверны.

При экспертном анализе эффективности защитных мероприятий по предотвращению ущерба от инженерно-геологических и геологических процессов на территории Москвы достоверное различие между оценками эффективности защиты также определялось по критерию Фридмана ($P = 0,039$). По критерию Уилкоксона установлены три группы процессов ($P < 0,020$) (табл. 18). Согласно экспертным оценкам, наиболее эффективны мероприятия, способствующие затуханию (или предотвращению) оползней, заболачивания и эрозии; наименее эффективна борьба с вибрацией.

Т а б л и ц а 18. Оценки эффективности защитных мероприятий

Группа	Процессы	Средний ранг	Средняя оценка
I	Оползневые	9,07	2,43
	Заболачивание	8,36	2,29
	Эрозия	8,21	2,29
II	Подтопление	7,36	2
	Химическое загрязнение	6,71	1,86
	Карстово-суффозионные	5,36	1,71
	Электрокоррозия	5,14	1,57
	Техногенное оседание	5,0	1,43
	Техногенное осушение грунтов	4,43	1,29
	Вибрация	2,93	1

Учитывая относительную пространственную локальность карстово-суффозионных процессов и то, что их ущербобразующая роль в настоящее время проявилась в деформациях и авариях только нескольких зданий, в число управляющих геологических параметров включены факторы, описывающие ущербобразующую роль подтопления и косвенно (используя зависимость интенсивности соответствующих процессов от подтопления) – электрокоррозии и химического загрязнения. Ущербобразующая роль оползневых процессов в деформациях зданий не учитывалась из-за локальности проявления и небольшого числа сооружений, претерпевающих деформации из-за оползней. Остальные процессы не охарактеризованы из-за сравнительно небольшой актуальной и потенциальной ущербобразующей роли (см. табл. 16, 17).

В то же время, как показывает анализ данных, приведенных в табл. 18, эффективность мероприятий, предотвращающих ущерб, наиболее велика как

раз для неучитываемых локальных процессов. Следовательно, значимость ущербобразующей роли подтопления (и взаимосвязанных с ним химического загрязнения, формирующего техногенную агрессивность грунтовых вод, и электрокоррозии) весьма существенна.

Процесс взаимодействия природных и техносциальных подсистем в Москве наиболее исследован применительно к системе "геологическая среда-здание". Результаты взаимодействия геологической среды и зданий выражаются в "откликах", дифференцированных в зависимости от вектора и величины переменных состояния (осадок, кренов) по трем категориям деформаций [53]: 1) ненарушающих нормальной эксплуатации зданий; 2) нарушающих ее; 3) аварийного характера.

Как показывает опыт, повреждения, наблюдаемые в конструкциях сооружений, редко вызываются единственной причиной, обычно - несколькими, одна из которых может быть основной. Большинство аварий зданий и сооружений связано с фундаментами и основаниями. Недопустимые осадки, трещины и прогибы в элементах здания или сооружения зачастую возникают при ослаблении основания в процессе эксплуатации. Чаще всего об изменениях, происходящих в основании здания, свидетельствуют внешние повреждения, определяемые визуально. Трещины на стенах, окнах, перекосы и заклинивания дверей и окон в зданиях являются характерными признаками того, что здание испытывает деформации.

Для выявления причин, вызвавших деформации сооружения, необходимо провести его тщательное обследование, в котором должно быть уделено внимание прочности материала конструкций и наличию в них трещин, различные измерения, оценку состояния фундамента и его основания, а также изучение архивных данных. Категория повреждений и износа может быть определена в соответствии с табл. 19.

Для оценки связи между техногенным воздействием и повреждениями в зданиях и сооружениях были проанализированы паспорта обследования 936 зданий (обследование МГЭ ПГО Центргеологии). При оценке учитывались тип здания и фундамента, глубина заложения фундамента, назначение здания, его этажность и время возведения, наличие подвала, тип рельефа, наличие или отсутствие дренажа и его тип, положение уровня грунтовых вод, характер деформаций здания. Кроме того, из паспортов были взяты установленные при обследовании причины деформаций, которые в основном объяснялись ухудшением физико-механических свойств основания, подтоплением, конструктивными причинами, динамическими воздействиями, влиянием соседних объектов.

Все перечисленные характеристики были сведены в таблицы-матрицы, формы которых приведены в табл. 4. В нижних их строках приведены коды признаков. При альтернативных показателях к основному коду добавлялись "1" при наличии данного признака или "0" в противоположном случае. Обследованные здания в основном были старой постройки, чаще всего кирпичные, не имеющие технической документации. Кирпичная кладка состоит из чередующихся слоев кирпича и раствора. Совместная их работа обеспечивается

Т а б л и ц а 19. Категория и вид повреждений зданий

Категория повреждений	Повреждения			Износ конструкции, %
	несущих стен, столбов, колонн, фундаментов	ограждающих стен	перекрытий, лестниц, сводов	
0	Трещин нет	Трещин нет	Сдвигов и трещин нет	До 5
I	Наклонная и вертикальные трещины в межкомнатных поясах и перемычках с раскрытием до 1 мм	Трещины в кладке и швах между панелями с раскрытием до 1 мм	Повреждений и сдвигов нет	До 20
II	То же, до 5 мм	То же, до 5 мм	Трещины в сопряжениях конструкций и сдвиги в заделах	До 40
III	Сквозные горизонтальные и вертикальные трещины, вывалы кладки	Трещины с раскрытием более 5 мм, сдвиги панелей	Трещины и сдвиги в сопряжениях, разрыв анкеров	Свыше 40

различной системой перевязки и сцеплением раствора после его твердения. Неравномерная осадка фундамента, вызванная ухудшением прочностных свойств основания, приводит к возникновению сложного напряженного состояния кладки за счет различия упруго-пластических свойств кирпича и затвердевшего раствора. В результате в растворных швах возникают деформации, которые вызывают появление трещин в кирпиче. Дальнейшему развитию деформаций способствуют также неровности постели кирпича, различная толщина растворных швов и их плотность. С появлением первых микротрещин отмечается значительное падение начального модуля деформации кладки, что благоприятствует дальнейшему росту деформаций, сопровождающемуся появлением очагов концентрации напряжений в кладке.

Появление деформаций в конструкциях может быть следствием изменений, происходящих в основании сооружения. После возведения здания или сооружения состояние грунтов значительно изменяется. В основании сооружений происходят перераспределение начального напряженного состояния, нарушение естественного теплового режима и условий аэрации, изменение гидрогеологического режима.

Одной из причин, вызывающих снижение прочностных свойств основания, является подтопление. В то же время, сами фундаменты и технология их изготовления могут влиять на положение уровня грунтовых вод. Известны случаи, когда забивка свай уменьшила сечение подземного водотока, что привело к повышению уровня грунтовых вод, частичному заполнению подвала водой и, следовательно, к необходимости выполнения работ по отводу русла водотока и дренажу подвала здания.

При повышении уровня грунтовых вод резко снижается несущая способность свай. Так, водонасыщение суглинков привело к снижению значения лобового сопротивления конуса зонда примерно в 4–5 раз, а трения по боковой поверхности в 2–7 раз. Значение модуля деформации при водонасыщении также уменьшилось в 4–5 раз. Уменьшение несущей способности свай вызывает резкое увеличение осадки и, как следствие, деформации конструкций зданий и сооружений, построенных на свайных фундаментах. Подтопление оказывает влияние также на несущую способность и деформативность грунтов, являющихся основанием фундаментов других видов. Кроме того, процесс подтопления может непосредственно влиять на прочностные свойства материала фундамента, в особенности если грунтовые воды обладают агрессивными свойствами.

Направленность фронта подтопления относительно фундамента обуславливает различные величины его деформаций, что ведет к неравномерности осадок и появлению деформаций в конструкциях верхнего строения. Это особенно относится к плитным фундаментам больших размеров в плане.

Деформации в конструкциях зданий могут быть вызваны различного рода влиянием соседних объектов, например разработкой котлована. При разработке котлована вблизи существующих фундаментов вследствие полного или частичного исключения боковой пригрузки снижаются вертикальные и горизонтальные напряжения в массиве грунта ниже дна котлована и рядом с ним, что уменьшает несущую способность основания.

Если глубина котлована больше глубины заложения существующих фундаментов, могут появиться дополнительные негативные факторы: развитие бокового активного давления грунта на стену существующего фундамента, действие гидродинамических сил, обусловленных понижением уровня грунтовых вод в грунте, и пр. В этом случае иногда наблюдается подъем дна котлована. Массив грунта, примыкающий непосредственно к существующему фундаменту, может потерять полностью или частично свою устойчивость, что приведет к опасному выпору грунта из-под фундамента в сторону котлована. Изменение напряженно-деформированного состояния основания неминуемо вызовет появление деформаций в надфундаментных конструкциях здания. При разработке котлована во многих случаях приходится применять водопонижение. Если рядом находится фундамент, выполненный из бутового камня, работающий в этом случае как дрена, длительная фильтрация воды может привести к снижению несущей способности основания, что также приведет к возникновению деформаций в здании. Ослабление несущей способности основания могут вызвать нарушения технологии разработки котлована, выполняемой в зимнее время.

Деформации зданий и сооружений могут быть обусловлены длительным динамическим воздействием (действующим метрополитеном, различным наземным транспортом). Временные динамические нагрузки вызываются длительной работой различных механизмов, например компрессоров, различных двигателей, а также механизмов, применяемых при забивке или вибропогружении свай. При забивке свай в результате воздействия инерционных сил,

возникающих при колебании грунта; происходят дополнительные осадки или выпор вокруг свай, которые могут вызвать опасные деформации существующих зданий или сооружений.

Таким образом, оценка воздействия отдельных факторов на обследованные здания осуществлялась с учетом основных признаков, приведенных в табл. 4.

Деформированные здания распространены на городской территории весьма неравномерно - от полного отсутствия до 38 шт. на I км². Максимальная плотность их отмечается в центральной части. На долю первой степени деформированности (см. табл. 19) приходится 35,8 % всех зданий, второй - 49,4 и третьей - 3,3 %. Деформированы преимущественно дома малой этажности - I-5 этажей (94,7 %). Большинство зданий (61,3 %) построено после 1900 г. и 33,9 % имеет возраст свыше 80 лет. В старых домах, отслуживших один-два амортизационных срока, только 2,1 % деформаций развивается вследствие их ветхости.

Как показал анализ первичных материалов, генетический тип пород определяет (при прочих равных условиях) частоту случаев деформации зданий (табл. 20).

Т а б л и ц а 20. Частота случаев деформаций сооружений в пределах геолого-литологических комплексов

Геолого-литологический комплекс	Общая площадь распространения геолого-литологического комплекса в пределах I43 км ²	Количество обследованных деформированных зданий	Количество деформированных зданий на I км ²
Пойменный	26,1	138	5,3
Аллювиальный (террасовый)	79,3	584	7,4
Флювиогляциальный	22,5	131	5,8
Моренный	10,2	31	3,0

Относительно низкая плотность деформированных домов, возведенных на пойменных отложениях, объясняется меньшей густотой застройки вдоль бережных и приуроченностью парковых зон к руслам рек, а также повышенной исходной прочностью конструкций зданий, строящихся на слабых грунтах.

Как правило, деформации зданий и сооружений вызваны совокупным негативным воздействием нескольких факторов. На первое место среди них выходят слабая несущая способность техногенных грунтов (культурного слоя) (52,4 % всех обследованных зданий), на второе - проектные ошибки конструктивного характера.

Для области развития моренных отложений характерны низкая плотность деформированных зданий (3 зд./км²) и малые значения скоростей оседания поверхности земли (0,1 - 0,6 мм/год). Однако в районах интенсивного освоения скорость оседания возрастает в 1,5-2 раза. Так, в центре го-

рода, на участке, ограниченном улицами Горького-Чехова, Садовым кольцом, величина смещения поверхности земли за 1948-1973 гг. достигает 30 мм, а плотность деформированных зданий - 6-8 зд./км². Общее количество зданий, деформированных здесь в результате динамического воздействия наземного транспорта, составляет 25,8 %, а в результате влияния метро - 19,4 %. Кроме того, 12,9 % зданий деформировано из-за подъема уровня грунтовых вод и увеличения влажности грунтов основания в песчаных прослойках.

В областях распространения средне-верхнечетвертичных флювиогляциальных и аллювиальных отложений, близких друг к другу как по литологическому составу, так и по средней скорости оседания поверхности земли (1-2 мм/год), средняя величина осадок составляет 20-30 мм (за 1959-1973 гг.). Флювиогляциальные отложения, характеризующиеся большей однородностью по составу и выдержанностью по простиранию, имеют меньшую плотность деформаций (5,8 зд./км²), чем более пестрые по составу и изменчивые по вертикали и латерали аллювиальные отложения (7,4 зд./км²). Основными причинами, вызывающими вначале неравномерное оседание поверхности земли, а затем и деформации зданий (от 18,3 до 26,7 %), являются изменения гидрогеологической обстановки и вибрационное воздействие наземного транспорта и метрополитена. Переувлажнение и обводнение грунтов происходит за счет не только повышения уровня грунтовых вод, но и утечек из водонесущих сетей.

Области распространения пойменных отложений характеризуются максимальными значениями скоростей оседания поверхности земли - 2,1-3,6 мм/год (1959-1973 гг.). Присутствие в верхней части разреза супесей и суглинков с пониженной несущей способностью и приуроченность к ним верховодки способствуют тому, что 47,1 % зданий (из обследованной выборки) деформируется по этой причине.

Оценка причин деформаций зданий осуществлялась по специально разработанному алгоритму "генератор гипотез для качественных признаков". В Таллинском политехническом институте Р.Э.Куузиком составлен пакет прикладных программ для создания "порядка в хаосе". Пакет реализован на компьютерах типа IBM PC и СМ-4.

Анализ данных показал, что значимые деформации, влекущие за собой ощутимые затраты на компенсацию непредотвращенного экономического ущерба [41], наиболее распространены на III надпойменной террасе (табл. 21), где отмечены ущербобразующие признаки: плотная взаимовлияющая застройка, подтопление, техногенная вибрация и др. В пределах I-II надпойменных террас вероятности проявления значительных деформаций снижаются, что связано с наличием дренирующего (проницаемого) слоя, снижением роли ущербобразующих техногенных факторов. На пойме, характеризующейся меньшей дренированностью, развитием слабых грунтов, действием ряда ущербобразующих процессов, вероятность проявления значительных деформаций вновь повышается. Любопытен факт значительного возрастания вероятностей значимых деформаций в пределах высокой IV террасы.

Т а б л и ц а 21. Вероятность проявления различных видов деформаций сооружений в различных геолого-геоморфологических условиях

"Отклик" деформаций	Управляющие параметры			
	пойма (56.1)	I-II террасы (56.2)	III терраса (56.3)	IV терраса (56.4)
Трещины 5-15 мм (32)	0,163	0,081	0,551	0,163
Трещины 15 мм (33)	0,173	0,153	0,519	0,115
Сквозные трещины (34)	0,100	0,100	0,475	0,175
Трещины пола и потолка (36)	0,148	0,200	0,800	-
Перекося пере- крытия (36)	-	0,085	0,553	-
Крен сооружения (37)	0,142	0,114	0,657	-

П р и м е ч а н и е к табл. 21, 22. В скобках указан код признака (см. табл. 4).

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что субъективных ошибок меньше в тех случаях, когда проектировщики "притерпелись" к более сложной природной ситуации и по традиции в конструктивные решения закладывают определенные запасы прочности. Так, в пределах поймы вероятность формирования крупных раскрытых трещин из-за конструктивных проектных ошибок (признаки 33-48) меньше, чем на I-II террасах: $P_{56.1} = 0,333$ и $P_{56.2} = 0,500$. В то же время сложность геологического строения поймы объективно формирует возрастание вероятности ущербов из-за первоначальной недооценки физико-механических свойств грунтов: для признаков 42-44 $P = 0,714$, а для признаков 33-44 $P = 0,388$, в то время как в пределах IV (флювиогляциальной) террасы, характеризующейся более однородным и простым геологическим строением, роль геологических ошибок снижается для признаков 33-44: $P = 0,129$ и т.д. Однако "непривычность" проектировщиков к новым техногенным воздействиям, возникшим в самое последнее время в результате совокупного влияния ряда факторов (например, к подтоплению), обусловила тот факт, что на высоких террасах вероятность ошибок в сфере недоучета гидроизоляции и дренажа как ущербобразующих факторов вдвое выше, чем на пойме.

Интересные результаты дал выборочный анализ роли возраста зданий в формировании деформаций. Например, вероятность крупного трещинообразования при осадках увеличивается с возрастом зданий (табл. 22). По вероятности проявления крена различия в возрасте сглажены, что можно объяснить интенсивным техногенным воздействием, которое формирует непредотвращенный ущерб. Так, высокая вероятность крена (0,8-1,0) наблюдается при сочетании высокого положения грунтовых вод (5 м) в условиях поймы, наличия в разрезе четвертичных отложений водоупорного слоя и

Т а б л и ц а 22. Вероятность проявления различных видов деформаций в зависимости от возраста зданий

"Отклик" деформаций	Управляющие факторы			
	Возраст зданий, лет			
	До 10(67.1)	10-20(67.2)	20-50(67.3)	Более 50 (67.4)
Трещины 5-15 мм (32)	0,031	0,096	0,115	0,120
Трещины 15 мм (33)	0,062	0,134	0,150	0,240
Крен сооружения (37)	0,093	0,115	0,090	0,059

слабого слоя в несущей толще (модуль деформации 5 МПа). В качестве определяющего появляется признак 55 (застройка смежных участков). Непременный атрибут крена - признак 32.1 (наличие трещин), который на стадии мониторинга может служить признаком возможности последующего крена.

Использование "деревьев" вероятностей в причинном анализе деформаций делает результаты его более наглядными. Выявилось, например, что вероятность наиболее серьезных деформаций типа сквозных трещин, перекоса, выкрашивания кладки и крена весьма высока у старых кирпичных зданий с ленточным фундаментом, построенных на мощном культурном слое.

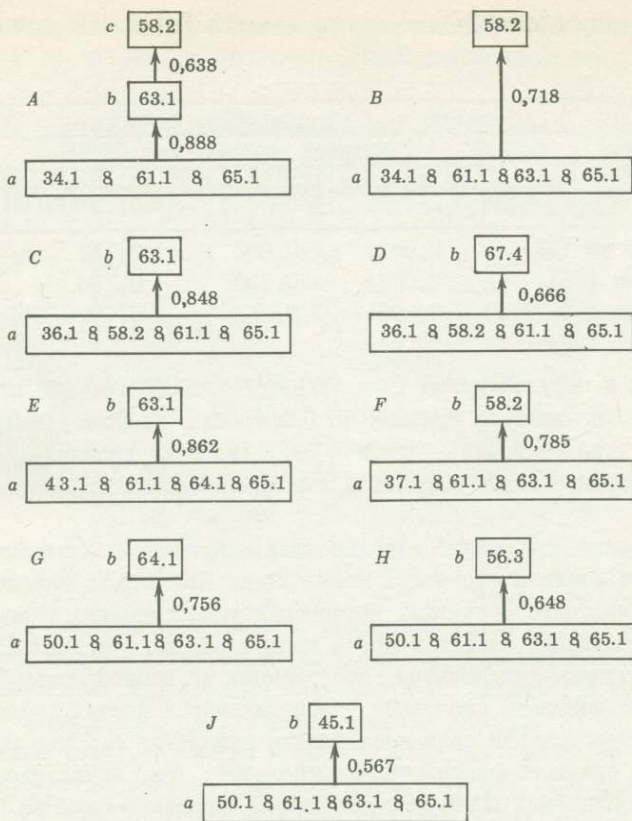
На рис. 16 показаны несложные "деревья" вероятностей, позволяющие выявить парагенетически связанные плеяды признаков с довольно высокой вероятностью причинно-следственных отношений. Так, появление сквозных трещин на проницаемых грунтах свойственно кирпичным зданиям на ленточных фундаментах, при этом в основании этих фундаментов высока вероятность залегания мощного культурного слоя: $\{P[P(Aa \rightarrow Ab) = 0,888] \rightarrow Ac\} = 0,638$. Вероятность деформаций подобного рода в отмеченном признаковом пространстве еще более увеличивается, если мощный культурный слой входит в перечень признаков исходной плеяды: $P(Ba \rightarrow Bb) = 0,718$.

Перекосы внутренних перекрытий кирпичных зданий, устроенных на проницаемом культурном слое, с высокой вероятностью происходят на ленточных фундаментах: $P(Ca \rightarrow Cb) = 0,848$. Подобный вывод приводит к настоятельной необходимости применения в таких случаях глубоких свайных фундаментов, в некоторых случаях необходимо усиление оснований зданий старой генерации (возрастной генерации, соответствующей признаку 67.4): $P(Da \rightarrow Db) = 0,666$.

Выкрашивание кладки фундаментов весьма вероятно для кирпичных зданий с ленточными фундаментами мелкого заложения: $P(Ea \rightarrow Eb) = 0,862$.

Крены, как уже отмечалось, с высокой вероятностью проявляются у кирпичных зданий с ленточными фундаментами мелкого заложения, устроенными на культурном слое повышенной мощности: $P(Fa \rightarrow Fb) = 0,785$.

Характерно, что роль технологических ошибок, проявляющихся на строительной стадии жизненного цикла объектов, высоковероятна при мел-



Р и с. 16. "Деревья" вероятностей деформаций зданий от параметров природно-техногенной системы "город"

ком заложении фундаментов в пределах III надпойменной террасы: $P(G_a \rightarrow G_b) = 0,756$ и $P(H_a \rightarrow H_b) = 0,648$ (высокий геологический риск при строительном освоении III террасы уже отмечался нами выше).

В формировании экономических ущербов относительно велик вклад ошибок при оценке физико-механических свойств культурного слоя: $P(J_a \rightarrow J_b) = 0,567$. Подобная относительно высокая вероятность приводит к выводу о настоятельной необходимости совершенствования методик и технических средств изучения физико-механических свойств культурного слоя.

Анализ вклада различных признаков в формирование деформаций позволяет дифференцировать территорию города по степени техногенных изменений геологической среды, при этом дома используются как своеобразные "штампы", осадка которых изменяется в пространстве и времени в зависимости от специфических сочетаний геологических и техногенных управляющих параметров. Содержательный анализ вероятностей позволяет наме-

тить и реализовать стратегию реконструкции существующей и оптимизации новой застройки в аналогичных признаковых пространствах, а при оценке экономического ущерба ограничиться учетом только приоритетных факторов.

Особенности оценки экономического ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды

Специфика оценки ущерба определяется особенностями рассматриваемой территории: с одной стороны, это многообразие видов воздействия техногенно измененной геологической среды, с другой – структура реципиентов. На основании природно-техногенных и градоформирующих характеристик, проанализированных в предыдущих разделах, можно выделить основные особенности территории Москвы:

- срединное положение города в регионе; четкая геометрическая форма правильного овала (в пределах МКАД), предопределившая равномерное концентрическое расположение новых районов без учета природных особенностей, сложности освоения, связей с центральной частью города; высокий уровень урбанизации;

- широкое распространение моренных и флювиогляциальных поверхностей и площадей долинного комплекса р.Москвы и ее притоков;

- дифференциация глубины техногенного воздействия в зависимости от геологического строения: в пределах речных долин – до глубины залегания толщ верхнего и среднего карбона, на остальной территории – до толщи юрского возраста;

- изменение интенсивности техногенных воздействий на геологическую среду во времени и пространстве: до начала XIX в. – незначительная нагрузка при малоэтажной застройке в границах Садового кольца; к началу Октябрьской революции – расширение городской территории, усиление влияния на рельеф, сокращение гидрографической сети; в послевоенные годы – увеличение городской площади в 3,5 раза, строительство промышленных предприятий, повышение этажности жилой застройки, сопровождающиеся ростом статических и динамических нагрузок на грунты, активное освоение подземного пространства, усиление техногенного воздействия на подземные воды. Почти на всей территории города развиты техногенные отложения, максимальные площади и мощности которых приурочены к центру города. Площадное распространение имеют такие виды техногенных нагрузок, как застройка, загрязнение территории, линейное – вибрация, тепловое воздействие вдоль наземных и подземных коммуникаций;

- развитие комплекса современных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений: оврагообразование, заболачивание, речная эрозия, карст, оползни, подтопление, грунтовая коррозия и др., территориальное распределение которых в значительной степени зависит от исторических особенностей освоения территории, рассмотренных выше;

- сложность взаимодействия геологической среды с технической и природной подсистемами, наличие обратных связей.

Выявление определенных закономерностей во взаимодействиях геологической среды с объектами социотехносферы позволяет выбрать приоритет-

ные ущербобразующие факторы, установить вероятностные зависимости между различными причинами (видами воздействия) и следствиями ("откликами"). Основные признаки и показатели, необходимые для оценки ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды в Москве, представлены в табл. 23.

Т а б л и ц а 23. Основные показатели, использованные для оценки ущерба в связи с техногенными изменениями геологической среды

Виды воздействия	Основные реципиенты	Показатели для оценки ущерба
Загрязнение	Территориальный литосферный ресурс	Площадь распространения зон загрязнения различной степени опасности для здоровья населения; численность населения, дополнительно болеющего в загрязненной зоне
Подтопление	То же	Площадь распространения подтопленных зон с различными характеристиками (уровень грунтовых вод, их агрессивность, физико-механические свойства грунтов); соотношение функциональных зон; наличие дорог
Развитие суффозионно-карстовых процессов	Здания	Площадь распространения процесса; площадь зданий на этой территории
Разнородность и физико-механические свойства грунтов основания, изменения уровня грунтовых вод, неучтенных при изысканиях, проектировании, строительстве, эксплуатации	То же	Общее количество деформированных зданий; общая жилая площадь в них; категория деформации
Грунтовая коррозия	Подземные коммуникации (водопроводы, газопроводы)	Среднегодовое количество повреждений; категория повреждения

С помощью этих показателей и соответствующих нормативов оценивался ущерб применительно к отдельным реципиентам.

Оценка ущерба от загрязнения территории. Оценка экономического ущерба предусматривает выявление зависимостей между техногенным загрязнением атмосферы и почв, являющихся хранителем геохимической информации о состоянии окружающей среды, соответствующим ухудшением состояния здоровья населения и дополнительными затратами на его лечение. Экономические расчеты базировались на результатах геохимической оценки окружающей среды Москвы, выполненной сотрудниками ИМПРЭ под руководством Ю.Е.Саета. На основании специальных эколого-геохимических исследований ими была разработана шкала оценки опасности для здоровья населения загрязнения почв химическими элементами (табл. 24). Более чем на 50 %

Т а б л и ц а 24. Шкала оценки опасности для здоровья населения загрязнения почв [52]

Величина СПК	Показатели здоровья населения	Категория опасности
Менее I6	Отклонений нет	Не опасно
I6-32	Увеличение общей заболеваемости детского населения, суммарная заболеваемость возрастает на величину до 15 %	Умеренно опасно
32-I28	Увеличение общей заболеваемости и числа часто болеющих детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы, суммарная заболеваемость возрастает на величину до 40 %	Опасно
Более I28	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных), суммарная заболеваемость возрастает на величину до 70 %	Высоко опасно

площади города почвы характеризуются умеренно опасной и на 25 % - опасной степенью загрязнения. В различных частях города, кроме очагов, пространственно связанных с промышленными зонами, встречаются мелкие очаги загрязнения за счет бытовой деятельности населения и работы отдельных мелких предприятий. С учетом степени возрастания заболеваемости при различных категориях опасности определяется экономический ущерб, вызываемый загрязнением территории, в пределах каждого квадратного километра по формуле

$$Y_1^N = N^N \cdot 0,01 \sum_{i=1}^3 S_i^N C_i^z [c^E k^E + (1 - c^E) k^b],$$

где N - номер квадрата; N^N - численность населения в N -м квадрате, тыс. чел.; S_i^N - площадь распространения зоны i -й опасности для здоровья населения в N -м квадрате, %; C_i^z - коэффициент повышения заболеваемости в i -й зоне опасности; c^E - коэффициент детского населения; k^E, k^b - удельные затраты, связанные с заболеваемостью соответственно детского и взрослого населения, руб./чел. в год.

Расчеты осуществляются применительно к постоянно проживающему населению, в том числе детскому. При определении величин удельных затрат на лечение населения были использованы среднестатистические данные Института общей и коммунальной гигиены и здравоохранения им. А. Н. Сысина, справочные и фондовые материалы. Учитывая среднюю продолжительность одного заболевания, стоимость расходов на посещения поликлиники, а также *выплату больничных листов и средний размер теряемого национального дохода* в расчете на одного работника нами были определены средние по Москве значения затрат, связанных с заболеваемостью взрослого и детского населения.

Оценка ущерба от подтопления территории. В результате градостроительного освоения территории значительным изменениям подвергаются гидрогеологические условия. При этом формируется искусственный режим грунтовых вод и происходит подтопление территории. В пределах Москвы выделяются подтопленные территории с высоким уровнем грунтовых вод (< 3 м), территории, потенциально подверженные подтоплению (с уровнем грунтовых вод < 5 м), и зоны возможного образования верховодки в техногенных отложениях. Основной причиной подтопления является изменение в водообмене между грунтовыми и поверхностными водами. При отсутствии дренажа или его недостаточной эффективности на городской территории ухудшается дренированность, перераспределяется инфильтрационное питание грунтовых вод, усиливается водопиток за счет утечек из водопроводных и канализационных коммуникаций. Изменение водного режима территории и физико-механических свойств грунтов приводят к негативным последствиям в социотехносфере.

Оценка экономического ущерба от подтопления городской территории может осуществляться в соответствии с "Рекомендациями..." [61]. Расчеты ущерба от подтопления с использованием соответствующих удельных показателей ущербов производились по территории Москвы в пределах МКАД при-

нительно к селитебной, производственной и лесопарковой зонам, дорогам. Для рассматриваемой территории по материалам МГЭ ШГО Центргеология выделялись площади с явным подтоплением (уровень грунтовых вод до 3 м) — выше отметок заложения оснований подземных сооружений и скрытым подтоплением, возникающим при увлажнении грунтов и заглубленных конструкций инфильтрирующимися и капиллярными водами, а также в случаях концентрации влаги под сооружениями в результате тепловлагопереноса. Кроме учета основного ущербобразующего фактора — уровня грунтовых вод, при оценке ущерба учитывались агрессивность среды и изменение физико-механических свойств грунтов, главным образом прочностных и деформационных, приводящие к деформациям фундаментов и строительных конструкций за счет больших, сверхрасчетных или неравномерных осадок, набухания и др.

С учетом инженерно-геологических и градостроительных особенностей территории Москвы, базируясь на исходных данных и указанных методических рекомендациях, рассчитывался экономический ущерб от подтопления территории. Расчет осуществлялся по каждому квадратному километру применительно к отдельным реципиентам, что впоследствии позволило группировать общие результаты по любым территориям, например инженерно-геологическим областям, административным районам, функциональным зонам.

Ущерб от подтопления селитебной (производственной) территории определяется по формуле

$$Y_{2-1}^N = 0,01 S_1^N C [S^{uN} (C_1^u K_1 + C_1^x K_1^x + C_1^f K_1^f) + S^{vN} (C_1^v K_1 + C_1^x K_1^x)],$$

где u, v — индексы соответственно явного и скрытого подтопления; S^{uN}, S^{vN} — площадь распространения в N -м квадрате соответственно явного и скрытого подтопления, %; S_1^N — площадь селитебной (производственной) зоны в N -м квадрате, %; C_1^u, C_1^v — коэффициенты, учитывающие категорию города и уровень стояния грунтовых вод при незначительных равномерных осадках и неагрессивных средах соответственно для явного и скрытого подтопления в пределах селитебной (производственной) зоны; C_1^f — коэффициент, учитывающий категорию города при изменении физико-механических свойств грунтов в пределах селитебной (производственной) зоны; K_1 — удельный показатель ущерба, наносимого подтоплением селитебной (производственной) зоны при незначительных равномерных осадках и в неагрессивной среде, тыс.руб./га; K_1^x — удельный показатель ущерба, наносимого подтоплением селитебной (производственной) зоны при различной агрессивности среды, тыс.руб./га; K_1^f — удельный показатель ущерба, наносимого подтоплением селитебной (производственной) зоны при изменении физико-механических свойств грунта, тыс.руб./га; C — территориальный коэффициент.

Зеленые насаждения в зоне избыточного грунтового увлажнения подвергаются деградации или полной гибели. Величина ущерба в этом случае приравнивается к сумме оценки потерь древостоя и стоимости его восстановления. Ущерб от подтопления лесопарковой зоны определяется по формуле $Y_{2-2}^N = 0,01 S_2^N S^{uN} K_2$, где S_2^N — площадь лесопарковой зоны в N -м

квадрате, %; K_2 - удельный показатель ущерба от подтопления лесопарка, тыс.руб./га.

Автомобильные дороги в зоне подтопления требуют регулярного ремонта. С учетом характера подтопления ущерб от повреждения дорог определяется по формуле

$$Y_{2-3}^N = 0,01s_3^N C [s^{uN} K_3^u + K_3^x + K_3^f] + s^{vN} (K_3^v + K_3^x)] ,$$

где s_3^N - площадь занятая дорогами в N-м квадрате, %; K_3^u, K_3^v - удельные показатели ущерба, наносимого дорогам, соответственно явным и скрытым подтоплением при незначительных равномерных осадках и в неагрессивной среде, тыс.руб./га; K_3^x - удельный показатель ущерба, наносимого подтоплением дорогам при различной агрессивности среды, тыс.руб./га; K_3^f - удельный показатель ущерба, наносимого подтоплением дорогам при изменении физико-механических свойств грунтов, тыс.руб./га.

Общий экономический ущерб, наносимый подтоплением в каждом квадратном километре (Y_2^N), определяется суммой $Y_{2-1}^N + Y_{2-2}^N + Y_{2-3}^N + Y_{2-4}^N$, а в целом по городу или выборочно по ареалам $\sum_{N=1}^{336} Y_2^N$.

Оценка ущерба от развития суффозионно-карстовых процессов. Суффозионно-карстовые процессы получили явное развитие на весьма ограниченных площадях, в основном, в районе Хорошевского шоссе. Величина ущерба от них рассчитывается по формуле $Y_3^N = s^{KN} \cdot \frac{1}{s^N} K$, где s^{KN} - застроенная территория в N-м квадрате с активными суффозионно-карстовыми процессами, %; s^N - средняя площадь первого этажа одного дома в N-м квадрате, м²; K - удельная стоимость оборудования контроля и усиления фундамента, руб./строение.

Оценка ущерба от деформации зданий. Оценка ущерба от деформации зданий осуществлялась дифференцированно по категориям повреждений, устанавливаемых в соответствии с заключением о состоянии отдельных элементов здания в момент обследования. В расчетах были использованы материалы МГТЭ ПГО Центргеология по 936 обследованным деформированным зданиям. С учетом результатов вероятностных оценок зависимости исходных условий, различных причин и "откликов" (вид и степень повреждения) рассчитывается ущерб от деформации зданий по формуле $Y_4^N = \sum_{j=1}^5 R_j^N K_j C^o C^e$, где j - индекс категории деформации здания; R_j^N - деформация зданий j-й категории в N-м квадрате, шт.; K_j - удельная стоимость ликвидации повреждения j-й категории, руб./шт.; C^o - средняя общая жилая площадь в одном здании, тыс. м²; C^e - коэффициент эффективности капитальных вложений.

Удельная стоимость капитального ремонта, установленная на основании данных проектов МосНИИжилпроекта, в зависимости от характера деформаций изменяется в 5 раз. Таким образом, на конечный показатель ущерба влияет не только плотность деформируемых зданий, но и оценка их состояния.

Оценка ущерба от повреждений водонесущих коммуникаций. В результате повреждений подземных водонесущих коммуникаций теряется значительный

объем воды, а за счет утечек из них усиливается подтопление территории. Ущерб от подтопления и в связи с ним интенсификации определенных инженерно-геологических процессов рассматривался выше. Здесь же разбирается ущерб, связанный с ликвидацией повреждений на водонесущих коммуникациях, в значительной степени обусловленных развитием грунтовой коррозии.

По данным треста Мосводопровод, ежегодно в Москве ликвидируется несколько десятков тысяч аварий. Среди различных видов повреждений наиболее распространены свищи. Оценка экономического ущерба от повреждений водопроводов осуществлялась с учетом категории повреждений, вида трубопроводов (материал, возраст, диаметр труб), территориальной привязки. В расчете учитывались только аварии на трубопроводах, не достигших амортизационного срока. Таких случаев ежегодно бывает несколько тысяч. Ущерб от повреждений водопроводных коммуникаций в пределах каждого квадратного километра определяется по формуле $Y_6^N = \frac{1}{c^{t_4}} \sum_{i=1}^5 R_{1K_1}^N$ при $t_4^0 - t_{41}^N > 0$, где 1 - индекс категории повреждения водопроводной трубы; t_4^0 - нормативный срок службы водопроводных труб, лет; t_{41}^N - фактический срок службы водопроводных труб с 1-й категорией повреждений в N-м квадрате, лет; c^{t_4} - период, за который учитывались повреждения, лет; R_1^N - повреждения 1-й категории водопроводных труб в N-м квадрате, шт.; K_1 - удельная стоимость ликвидации повреждения 1-й категории, руб./шт.

Удельные значения стоимости ремонта одного повреждения, принятые по нормативным справочникам, изменяются в зависимости от диаметра труб, категории повреждения, характера увлажнения грунта в десятки раз, что было учтено нами при производстве данной оценки.

Оценка ущерба от повреждений газопроводных сетей. В результате повреждений подземных газопроводов причиняется ущерб в виде потерь объемов газа. При этом часто создается опасная (взрывоопасная) ситуация, требующая срочной ликвидации повреждений трубопроводов. Ущерб приравнивается к стоимости фактических ремонтных работ и соответствующих защитных мероприятий.

В Москве газовое хозяйство практически создано только в 1917 г. Общая протяженность газовой сети в настоящее время превышает 5,7 тыс. км; на каждый квадратный километр приходится в среднем 6,3 погонных км. Наиболее высокой плотностью газопроводов отличаются центральные районы (> 15 км/км²), минимальной - периферийные районы-новостройки с широким использованием электроэнергии вместо газа.

Надежность газопроводов зависит от механических повреждений трубопроводов при их перевозке и укладке, а также при проведении вблизи них земляных работ, коррозионной активности грунта, наличия блуждающих токов. По причине воздействия грунтовой коррозии возникает более 15 % всех повреждений на газопроводах.

Для оценки экономического ущерба от повреждений газопроводов были проанализированы данные треста Мосгаз за последние 8 лет о повреждениях подземных газовых сетей по причине грунтовой коррозии. В

расчете учитывались только повреждения на трубопроводах, не достигших амортизационного срока.

Все случаи повреждений были объединены в три категории в зависимости от вида труб (материал, диаметр, время укладки), условий увлажненности и трудоемкости работ. Годовой ущерб от повреждений газопроводных коммуникаций в пределах каждого квадратного километра определяется по формуле $y_5^N = \frac{1}{c^{t_5 q}} R_q^N K_q$ при $(t_3^0 - t_{5q}^N > 0)$, где q - индекс категории повреждения газопровода; t_3^0 - нормативный срок службы газопроводных труб, лет; t_{5q}^N - фактический срок службы газопроводных труб с q -м повреждением в N -м квадрате, лет; c^{t_5} - период, за который учитывались повреждения, лет; R_q^N - повреждения газопроводной сети q -й категории в N -м квадрате, шт.; K_q - удельная стоимость ликвидации повреждения q -й категории руб./шт. при $K_q = f(d_5, q, w)$; d_5 - диаметр газопроводной трубы; w - влажность грунта.

Удельные значения стоимости ремонта одного повреждения, принятые по нормативным справочникам, изменяются в зависимости от категории, диаметра труб, характера увлажнения грунта в десятки раз. На основании исходных данных и нормативов определялся ущерб от повреждений газопроводных сетей.

Практическая реализация предлагаемых расчетов возможна лишь при достаточной представительности исходной информации. Сложность в получении данных, необходимых для расчетов, заключается в многочисленности и разобшенности источников их получения, отсутствии систематизированных материалов, содержащих полные характеристики всех параметров. Кроме того, расчеты экономического ущерба затруднены из-за неразработанности на сегодня нормативной базы для подобных оценок. Применительно к отдельным показателям приходилось в качестве нормативных использовать средневзвешенные расчетные значения, например удельные стоимости ликвидации повреждений определенной категории. В итоге расчеты, производимые по оценке ущерба, нельзя считать полными. Из всего множества видов воздействия техногенно измененной геологической среды на реципиентов пока возможно учесть только основные.

Анализ результатов оценки ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды

В соответствии с методическими основами и расчетными формулами осуществлялась оценка ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды в Москве. Первоначально была сформирована система показателей, отражающая исходные характеристики, интенсивность воздействия техногенно измененной геологической среды, исходное и измененное состояние отдельных реципиентов. Для заполнения матриц соответствующими данными привлекались картографические, статистические, фондовые материалы. Строчки матриц соответствовали

номеру элементарной ячейки размером в один квадратный километр, а столбцы содержали количественные значения признаков или отражали их наличие (отсутствие) в данном квадрате.

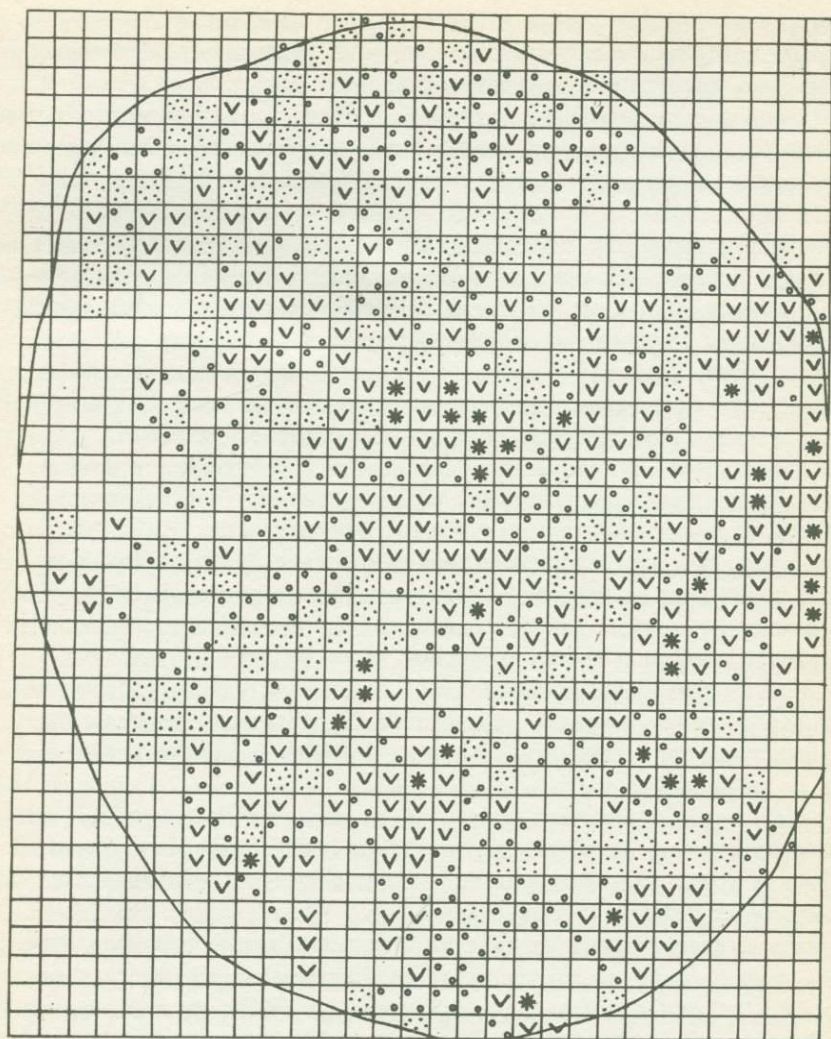
Учитывая роль отдельных факторов, а также представительность реципиентов и обеспеченность достоверной информацией, оценка ущербов производилась применительно к территории города в целом от загрязнения и подтопления, а к отдельным объектам – от деформации зданий, повреждений подземных коммуникаций (газопроводов, водопроводов).

Ущерб определялся методом эмпирических зависимостей, основанным на статистической обработке фактических данных о влиянии ущербобразующих факторов на состояние реципиента. Формула расчета ущерба имеет общий вид $Y = \sum_{n=1}^N K_n Q_n$, где K_n – денежная оценка компенсации единицы натурального ущерба, причиненного реципиенту n ; Q_n – значение натурального ущерба, наносимого реципиенту n .

Оценка ущерба по отдельным реципиентам осуществлялась по формулам, приведенным в предыдущем разделе. Расчеты производились на ЭВМ. Были разработаны соответствующие программы для отдельных реципиентов. На выходе программ формировались таблицы значений ущербов для каждого из квадратов. Эти таблицы, в свою очередь, служили исходными данными для последней процедуры – расчета суммарного ущерба. Содержательно все программы имеют сходную структуру и состоят из двух основных блоков: 1) поиск, считывание, проверка и преобразование исходной информации; 2) проведение вычислений по предложенным в предыдущем разделе формулам и выдача результатов на печать.

Общая годовая величина ущерба от загрязнения превышает 620 млн. руб. Наблюдается значительная территориальная дифференциация этой величины (рис. 17). Максимальный удельный ущерб характерен для центральных районов города, минимальный – для периферийных, с большим клином зеленых насаждений и меньшей плотностью населения. Так, если средний по городу ущерб от загрязнения территории составляет 7,5 тыс.руб./га, то в Свердловском районе он в 3 раза, а в других центральных в 1,5–2 раза выше средней величины. Самые низкие значения ущерба присущи территориям Кунцевского, Куйбышевского, Тушинского, Тимирязевского и Бабушкинского районов. Сопоставление схемы геохимического районирования территории города по категориям загрязнения с результатами оценки ущерба показывает несовпадение во многих случаях ареалов максимальных ущербов и зон чрезвычайно опасной категории. Это объясняется особенностями методики расчета, базирующейся на фактической численности населения. Около 50 % ущерба от загрязнения приходится на долинный комплекс, наиболее промышленно освоенную территорию с высокой плотностью застройки (по данным ИМГРЭ).

Средством защиты от вторичного воздействия техногенно загрязненных почв является их санация. Из числа мероприятий по санации



□ 1 □ 2 □ 3 ▽ 4 * 5

Р и с. 17: Схема распределения экономического ущерба, вызываемого загрязнением территории. Составили Г.Л.Кофф, Т.Б.Минакова

Экономический ущерб, тыс.руб./год на 1 км²: 1 - 0; 2 - <500; 3 - 500-1000; 4 - 1000-2500; 5 - >2500

почв наиболее эффективны увеличение задренованности поверхности путем подсева трав, а также известкование, при котором создается нейтральная или слабощелочная среда миграции, где химические элементы находятся в малоподвижной форме. Стоимость таких мероприятий достигает 1,5 тыс.руб./га. В перспективе в связи с ростом числен-

ности населения в городе и при условии непроведения соответствующих предупреждающих мероприятий следует ожидать увеличения этой величины.

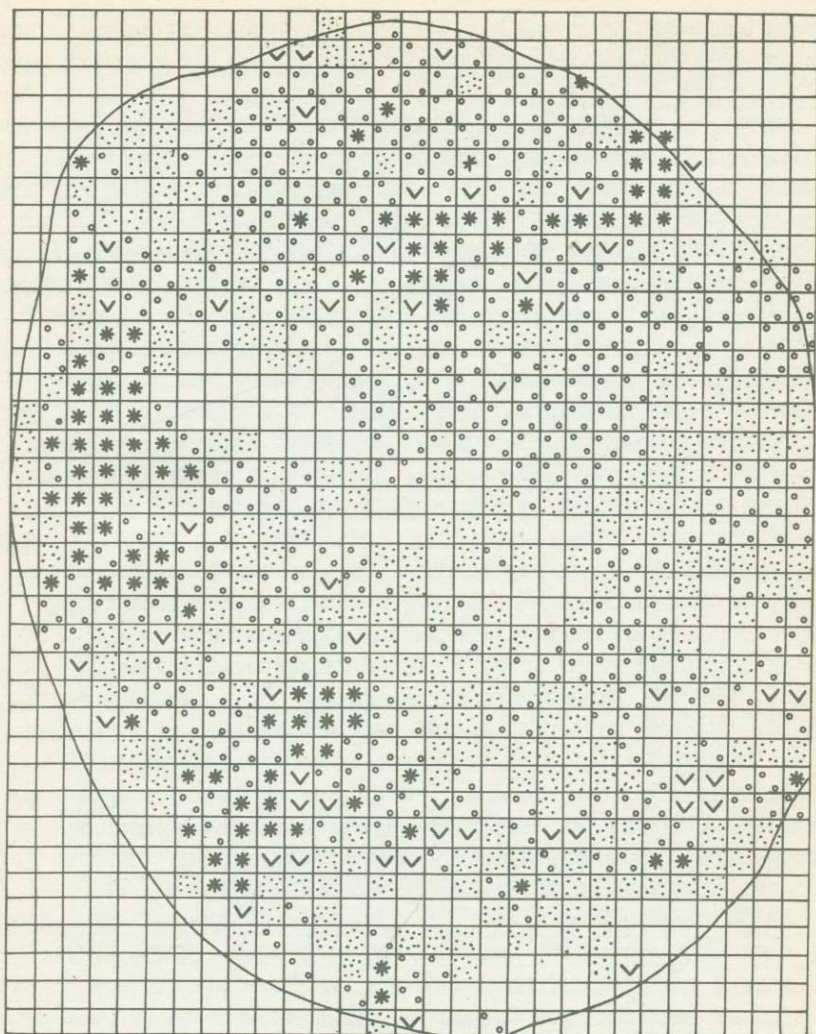
Вторым по степени воздействия на социотехносферу фактором является подтопление территории. Общий годовой ущерб при этом превышает 200 млн руб., около 60 % его приходится на восемь районов, где удельный показатель ущерба выше среднего по городу (2,5 тыс. руб./га). В основном это территории исходного подтопления, приуроченные к флювиогляциальной низменной, слабо расчлененной равнине (Перовский, Первомайский районы и частично другие). Повышенный ущерб от подтопления наблюдается и в пределах моренно-эрозийной возвышенности, испытывающей существенную техногенную нагрузку вследствие интенсивной застройки новых жилых массивов. Здесь распространены техногенно обводненные покровные отложения (Черемушкинский, Севастопольский районы). Для этих же территорий характерны и максимальные утечки из водонесущих коммуникаций.

Максимальные значения удельного экономического ущерба встречаются в различных частях города (рис. 18): на севере в долинах рек Яузы, Лихоборки, Чернянки, на юге и юго-востоке в долинах рек Чертановки, Граворонки, Слюдянки, подверженных подтоплению. Также значительный ущерб от подтопления наблюдается в районах Крылатского, Строгино, Химкинского водохранилища, Борисовских и Люблинских прудов, а также на отдельных участках поймы р.Москвы с уровнем грунтовых вод менее 3 м. В общем ущербе от подтопления около 80 % приходится на жилые зоны и по 10 % - на производственные и лесопарковые. Удельный вес ущерба от подтопления дорого относительно рассмотренных функциональных зон незначителен, однако стоимость восстановительных работ определяется в размере около 200 тыс.руб.

Рассмотренные ущербы, имеющие площадное распространение, в сумме составляют более 800 млн руб./год и, очевидно, будут играть подавляющую роль в интегральном ущербе, вызываемом техногенными изменениями геологической среды в городе. Однако в территориальном и отраслевом аспектах немаловажную роль играют и локальные ущербы, рассматриваемые ниже.

Оценка ущерба, вызываемого развитием суффозионно-карстовых процессов, производилась по ограниченному числу квадратов, в основном в районе Хрощевского шоссе, с учетом плотности застройки данной территории. Годовой ущерб здесь превышает 400 тыс.руб.

Оценка ущерба от деформации зданий осуществлялась дифференцированно по категориям повреждений. Была проанализирована выборка более 900 деформированных домов в Москве. В матрице были представлены такие характеристики, как тип здания и фундамента, глубина его заложения, назначение здания, этажность, время возведения, наличие подвала, дренажа, характер деформации зданий. С учетом основных параметров зданий была выполнена их группировка по категориям



□ 1 ▨ 2 ◻ 3 ▽ 4 * 5

Р и с. 18. Схема распределения экономического ущерба, связанного с подтоплением территории. Составили Г.Л.Кофф. Т.Б.Минакова

Экономический ущерб, тыс.руб./год на 1 км²: 1 - 0; 2 - <100; 3 - 100-500; 4 - 500-1000; 5 - >1000

деформаций [53]: 1) деформации, не нарушающие нормальной эксплуатации зданий: волосные трещины на стенах и трещины с раскрытием до 15 мм (средняя осадка здания - обычно 120 мм, максимальная - 150мм); 2) деформации, нарушающие нормальную эксплуатацию зданий: трещины с раскрытием более 15 мм, перекосы проемов и др. (средняя осадка - до 180 мм, максимальная - до 235 мм); 3) деформации аварийного ха-

рактера: трещины с раскрытием 90–100 мм (сквозные трещины, крены и перекосы зданий и сооружений).

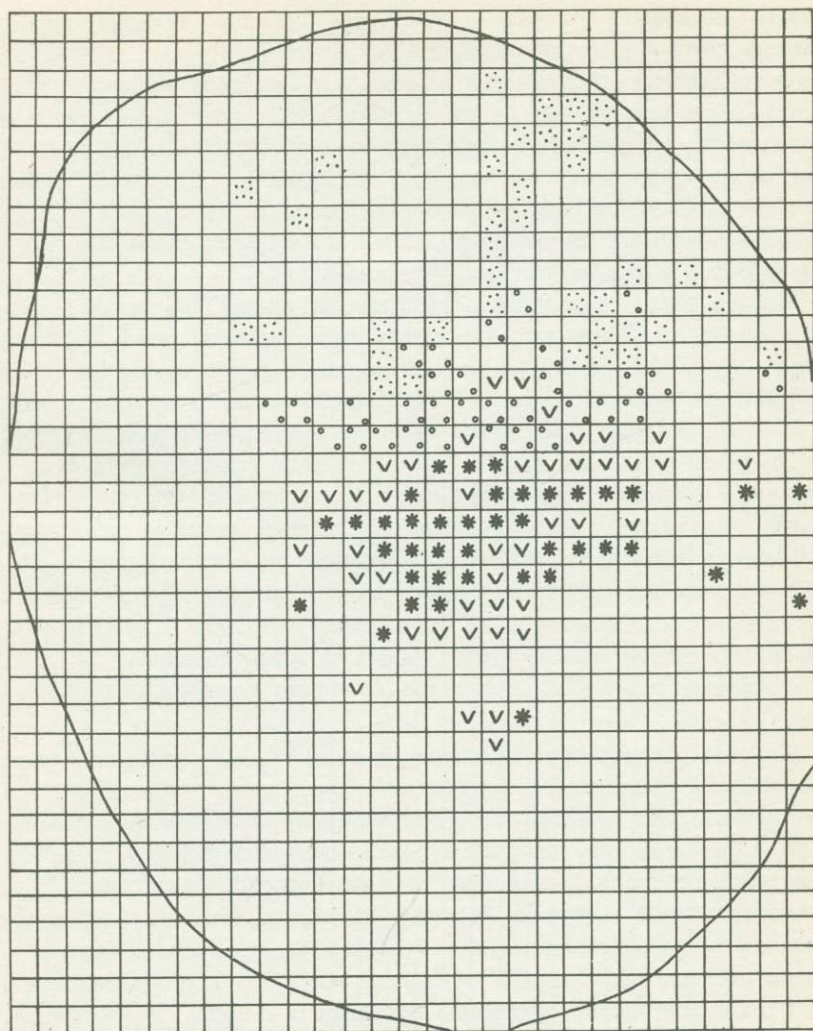
По материалам обследования зданий были выявлены основные причины их деформации: ухудшение физико-механических свойств основания, подтопление, динамическое воздействие, конструктивные причины, влияние соседних объектов. Однако, как правило, деформация здания является следствием одновременного воздействия нескольких факторов. Важность отдельных из них учитывалась при вероятностных оценках зависимостей исходные условия – "отклики".

Годовой ущерб, связанный с деформацией зданий, учтенный в расчетах, превышает 47 млн руб. Поскольку деформированы дома в основном более старой застройки, то они приурочены к ранее освоенным районам придолинного комплекса (рис. 19). В соответствии с этим подавляющая часть общего ущерба приходится на шесть центральных районов города, где величина удельного ущерба в 5–7 раз выше среднего по городу значения. Учитывая территориальную ограниченность выборки исходных данных, занижающую ущерб от деформации зданий в городе на основании вероятностных зависимостей между исходными параметрами инженерно-геологических и градостроительных условий, интенсивностью техногенных нагрузок и результатов их воздействия, методом нечетких аналогий был рассчитан потенциальный ущерб, который превышает 200 тыс. руб. При этом его ареал расширился в сторону периферийных районов (рис. 20).

Наиболее значительные величины ущербов от повреждения водонесущих коммуникаций приурочены к квадратам с плотностью повреждений, в 10 раз превышающей среднюю по городу величину. Максимальный удельный ущерб характерен для северных и северо-западных районов, отличающихся высокой плотностью населения и разновозрастной застройкой (сочетание исторической застройки Москвы и новых жилых массивов). Сопоставление схем распределения данного экономического ущерба (рис. 21), оценки степени коррозионной опасности (рис. 15) и распределения участков с глубиной уровня грунтовых вод менее 5 м (рис. 4) показывает совпадение основных ареалов максимальных значений ущерба с ареалами повышенной степени коррозионной опасности и преобладания высокого уровня грунтовых вод.

Общий ущерб от повреждений водопроводов достигает 600 тыс. руб., из которых почти половина приходится на территорию долинного комплекса р. Москвы и ее притоков. Эта величина отражает объем затрат, необходимый для ликвидации повреждений водонесущих коммуникаций, вызываемых грунтовой коррозией. Воздействие утечек из водопроводных труб на повышение уровня грунтовых вод учтено при оценке ущерба от подтопления.

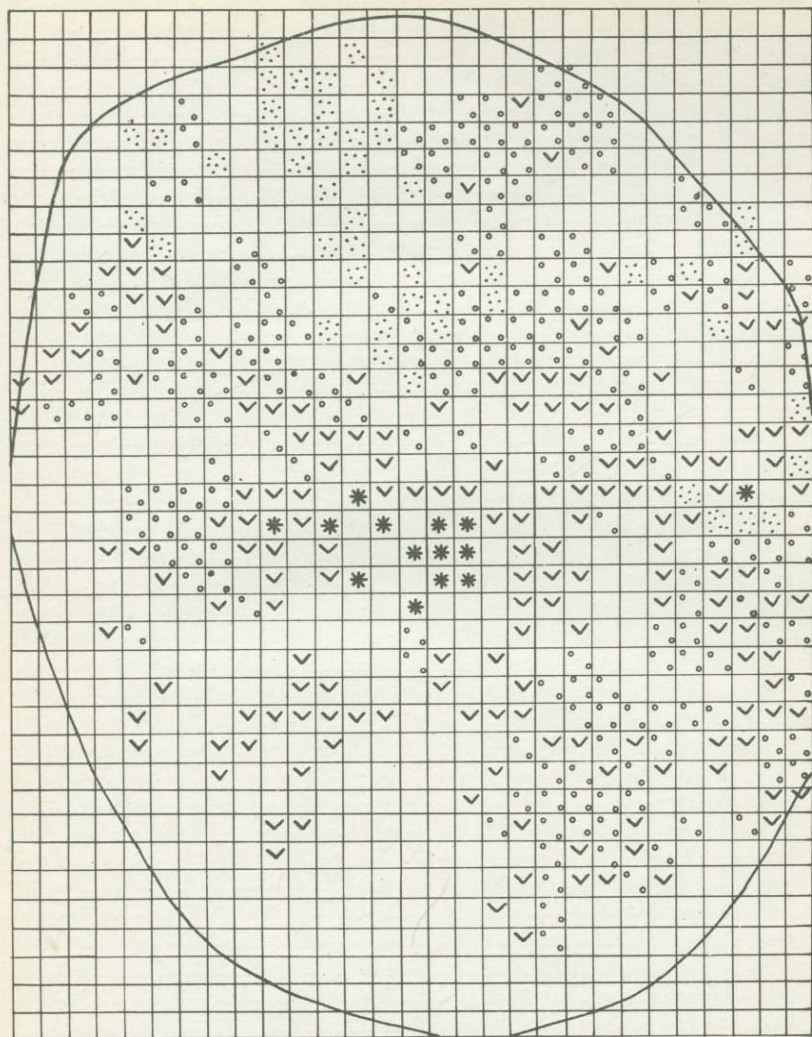
Общий ущерб от повреждений газопроводов составляет более 30 тыс. руб. Максимальный ущерб характерен для центральных районов Москвы с наибольшей плотностью газопроводов. Более трети ущерба приходится



□ 1 ▨ 2 ○ 3 ▽ 4 * 5

Р и с. 19. Схема распределения экономического ущерба, связанного с деформацией зданий. Составили Г.Л.Койф, Т.Б.Минакова
 Экономический ущерб, тыс.руб./год на 1 км²: 1 - 0; 2 - <100; 3 - 100-250; 4 - 250-500; 5 - >500

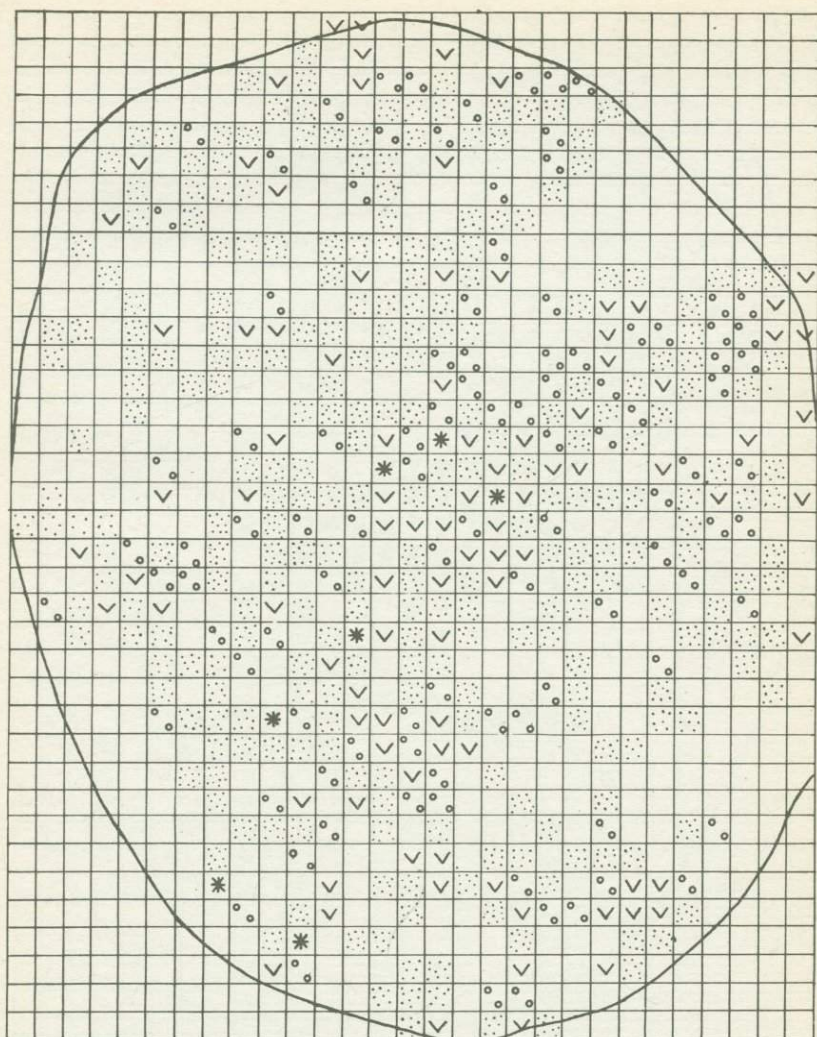
на область долинного комплекса. При сопоставлении рис. 22 и 15 наблюдается совпадение отдельных квадратов с максимальными значениями и высокой степенью коррозионной активности. Абсолютного совпадения не может быть, так как повреждения зависят не только от грунтовой коррозии, но и от размещения и плотности газопроводной сети.



□ 1 ■ 2 ◯ 3 ▽ 4 * 5

Р и с. 20. Схема распределения потенциального экономического ущерба, связанного с деформацией зданий. Составили Г.Л.Кофф, Т.Б.Минакова
 Экономический ущерб, тыс.руб./год на 1 км²: 1 - 0; 2 - <100; 3 - 100-250; 4 - 250-500; 5 - >500

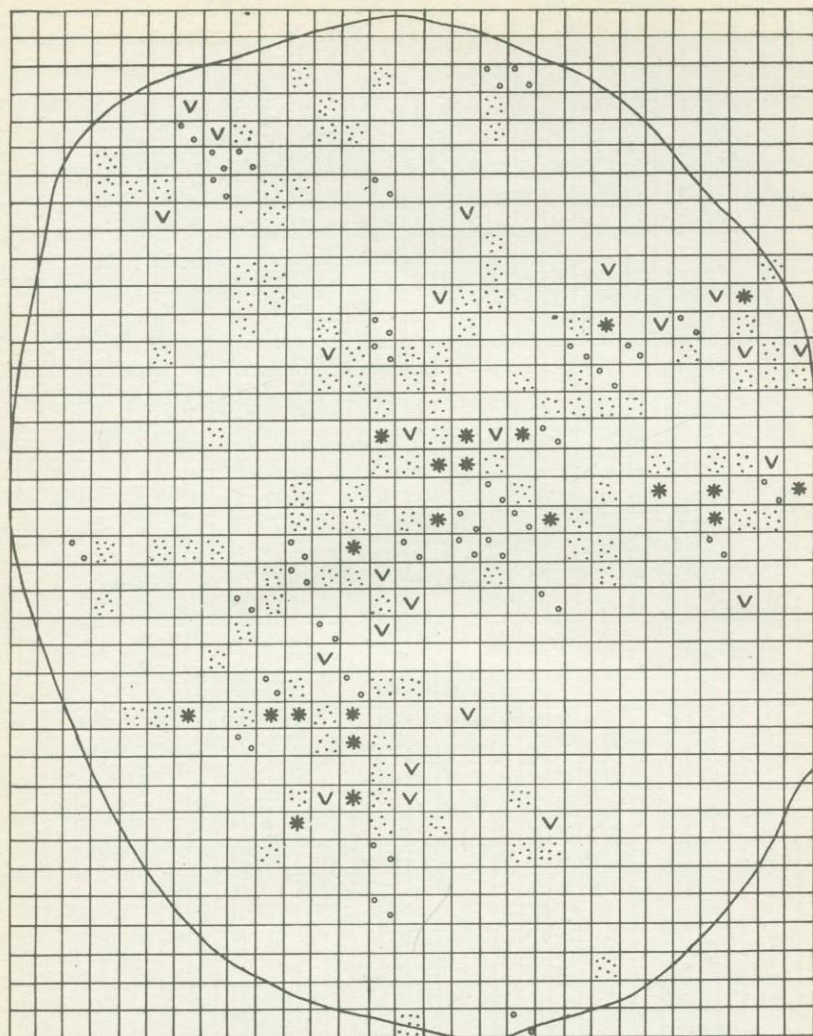
Так как оценки ущербов от повреждений подземных коммуникаций базировались на достаточно представительной выборке среднесноголетних данных, полученные результаты достоверны. Однако учет повреждений только в пределах амортизационного срока службы труб значительно снизил общую величину ущерба. Разница в расчетном и фактическом ущербе обусловлена хозяйственной деятельностью - нарушением сроков перекладки труб, проведения плано-предупредительных ремонтов.



□ 1 ▨ 2 ○ 3 ▼ 4 * 5

Р и с. 21. Схема распределения экономического ущерба, связанного с повреждениями водопроводов. Составили Г.Л. Кофр, Т.Б. Минакова
 Экономический ущерб, руб./год на 1 км²: 1 - 0; 2 - < 1000; 3 - 1000-2000; 4 - 2000-5000; 5 - > 5000

В итоге общий показатель годового ущерба, определяемый по каждому квадратному километру суммой перечисленных порециентных величин, изменяется в широком диапазоне - от 60 руб. до 5,8 млн руб., составляя в среднем по городу 1 млн руб./км². По территории города общие показатели ущерба весьма дифференцированы (рис. 23). Ареалы максимальных ущербов, как правило, совпадают с зонами повышенной заболе-

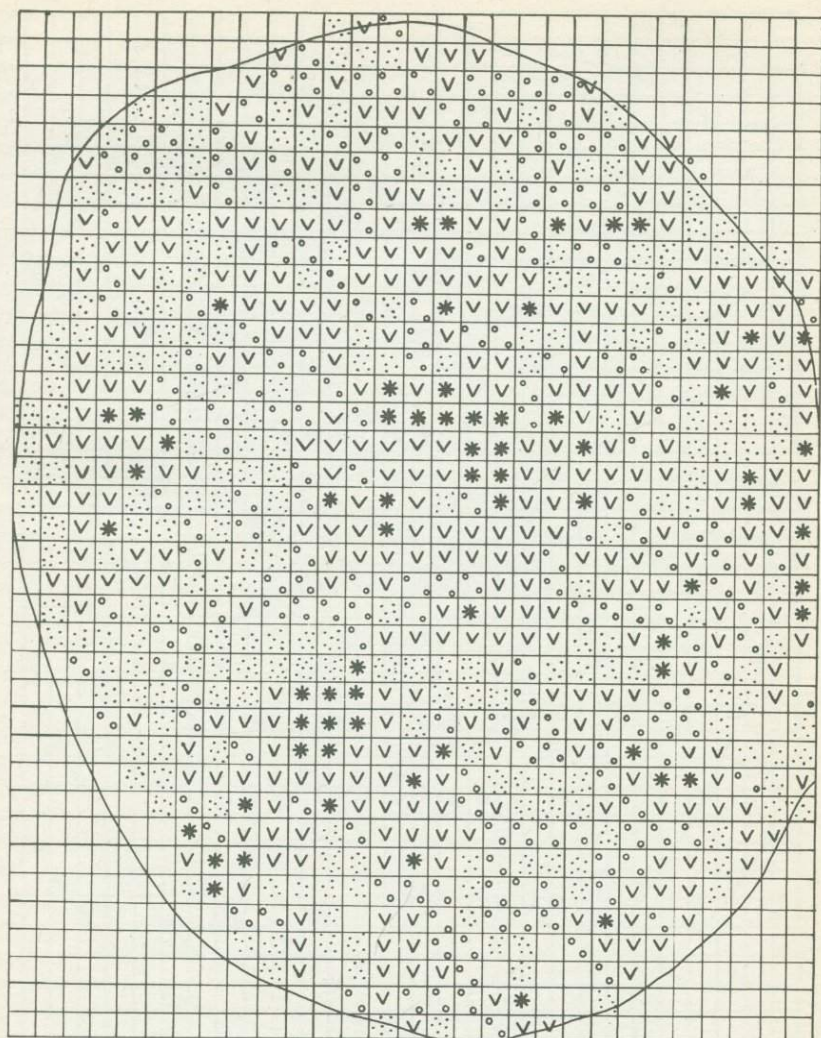


□ 1 ■ 2 ○ 3 ▽ 4 * 5

Р и с. 22. Схема распределения экономического ущерба, связанного с повреждениями газопроводов. Составили Г.Л.Корф, Т.Б.Минакова
 Экономический ущерб, руб./год на 1 км²: 1 - 0; 2 - <100; 3 - 100-250; 4 - 250-500; 5 - >500

ваемости в связи с загрязнением почв в центральной части города и с подтоплением территории в восточных районах.

К наиболее неблагоприятным с точки зрения воздействия измененной геологической среды можно отнести районы, где удельные значения ущерба превышают в 1,5-2 раза среднюю величину по городу (табл. 25). Максимальные ущербы характерны для Черемушкинского, Перовского, Свердловского, Октябрьского, Дзержинского, Бауманского районов. В одних



□ 1 ◻ 2 ◻ 3 ◻ 4 * 5

Р и с. 23. Схема распределения экономического ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды. Составили Г.Л.Кофф, Т.Б.Ми-накова

Экономический ущерб, тыс.руб./год на 1 км² : 1 - 0; 2 - <500; 3 - 500-1000; 4 - 1000-2500; 5 - >2500

это связано с тем, что они занимают значительные площади, в других распространены подтопленные или загрязненные территории. Наличие отдельных белых квадратов свидетельствует либо об отсутствии в них рассматриваемых видов реципиентов, либо об отсутствии воздействия техногенно измененной геологической среды.

Распределение ущербов по функциональным зонам Москвы с учетом их площадей показывает, что подавляющая часть ущерба приходится на селитебную зону - 669 млн руб., что связано с общей высокой плотностью застройки и численностью населения в городе. В производственной зоне ущерб составляет 116, а в лесопарковой - 85 млн руб.

Т а б л и ц а 25. Распределение общего годового экономического ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды, по административным районам Москвы

Район	Общий ущерб, млн руб.	Удельный ущерб, тыс.руб./га
Бабушкинский	28,3	8,7
Бауманский	16,3	25,9
Волгоградский	32,9	11,1
Ворошиловский	15,5	3,6
Гагаринский	31,1	6,5
Дзержинский	23,9	17,8
Ждановский	16,9	11,9
Железнодорожный	18,0	12,0
Калининский	17,7	14,7
Киевский	16,0	8,5
Кировский	36,3	9,0
Красногвардейский	51,2	7,4
Краснопресненский	17,3	12,8
Куйбышевский	24,8	5,0
Кунцевский	30,9	7,0
Ленинградский	21,8	8,2
Ленинский	14,7	10,6
Люблинский	48,9	8,9
Москворецкий	13,9	15,6
Октябрьский	28,5	16,0
Первомайский	47,5	13,9
Перовский	57,5	17,9
Пролетарский	24,6	11,4
Свердловский	18,0	25,0
Севастопольский	39,2	12,6
Советский	33,4	9,1
Сокольнический	27,9	12,8
Тимирязевский	32,5	8,9
Тушинский	19,3	6,4
Фрунзенский	17,8	11,5
Черемушкинский	61,9	16,0
Итого	884,5	10,6

При этом более значительные ущербы характерны для староселитебной подзоны, отличающейся высокой плотностью застройки (до 60 %), густой сетью подземных коммуникаций. Однако и в новоселитебной подзоне с более низкой плотностью застройки (10–20 %) встречаются территории с максимальными значениями ущерба, вызываемого в основном техногенным подтоплением территории. Наибольший ущерб приходится на область долинного комплекса, что связано не только с ее большой площадью, но и с наиболее интенсивной освоенностью территории, к которой приурочены историческая зона застройки и промзоны.

Следует заметить, что общий по городу ущерб, вызываемый ежегодно техногенными изменениями геологической среды, будет больше приведенной величины, так как в расчетах не учтены такие виды воздействия, как оползни, активность насыпных грунтов, свалок, загрязнение подземных вод и др. Однако создание математического аппарата, сбор и систематизация исходной информации, поиск или расчет удельных стоимостных (нормативных) показателей обеспечили достаточно достоверную оценку ущерба применительно к основным реципиентам Москвы. Графическая интерпретация массива исходных параметров воздействующих факторов и полученных результатов расчетов позволила путем совмещения соответствующих схем сделать логичные выводы о зависимостях между ущербобразующими факторами и экономическим ущербом. Все это дает основание, используя значительную территориальную дифференциацию анализируемых величин ущербов, выделить ареалы наибольшего риска (междуречье Москвы и Яузы, середина Ленинского проспекта и др.) и дать рекомендации по распределению средств на ликвидацию ущерба в целом. Учитывая ущербобразующую роль отдельных факторов применительно к различным реципиентам, можно определить, в каких районах и на какие именно природоохранные мероприятия необходимо направить эти средства.

В перспективе эти оценки явятся основанием для разработки нормативных (планово-перспективных) значений ущербов в расчете на условную единицу техногенных нагрузок. Последние должны определяться на основании анализа вероятностных зависимостей между исходными параметрами геологической среды, техногенными нагрузками и "откликами" на их воздействие.

Обоснование защитных мероприятий

Территория Москвы характеризуется разнообразными геологическими процессами, обусловленными как естественными причинами, так и активной хозяйственной деятельностью. Наиболее значительными из них можно считать подъем уровня грунтовых вод (подтопление) и сульфидно-карстовые явления.

Защитные мероприятия при наличии подтопления. При повышении уровня грунтовых вод происходит подтопление заглубленных помещений и коммуникаций, изменение гидрохимического режима, а также снижение несущей способности грунтов основания вследствие изменения их прочностных

свойств, что приводит к возникновению деформаций в зданиях и сооружениях и изменению условий эксплуатации объектов, технологического оборудования, коммуникаций.

Изучая процесс подтопления, важно установить форму, направление и скорость подъема уровня грунтовых вод. Равномерный характер подъема, как правило, вызывает равномерную осадку сооружения, которая в допустимых пределах не представляет опасности для эксплуатации. Опасность проявления неравномерных осадок возникает в случаях образования водных куполов, а также при фронтальном движении грунтовых вод, горизонт которых занимает более высокое положение по отношению к отметке подошвы фундамента. В случае купольной формы подъема грунтовых вод часть здания может оказаться расположенной над незамоченной толщей грунтов. При этом может возникнуть неравномерность осадок различных частей здания. Аналогичное явление встречается и в случае фронтального характера подъема уровня грунтовых вод.

Характер подтопления застраиваемых территорий оказывает влияние на конструктивное решение заглубленных помещений и фундаментов, определяемое принятым способом защиты от подтопления, а также на необходимость учета напряжений, возникающих в конструкциях вследствие деформаций грунта основания в результате подтопления.

Изменение водного режима возникает одновременно с началом строительства при отрыве котлованов, траншей, прокладке дорог. Создаются очаги интенсивной локальной инфильтрации воды в грунт в местах скопления поверхностных вод. Накопление на площадках большого количества поверхностных и атмосферных вод, инфильтрующихся в грунт, приводит к повышению уровня грунтовых вод. По окончании строительства появляются утечки из сетей водопровода, канализации и т.д.

Подтопление вызывается одновременным действием режимобразующих факторов, которые можно разделить на активные и пассивные; в свою очередь, активные факторы — на естественные (грунтовые воды, атмосферные осадки, сток поверхностных вод, пары воды в грунтах зоны аэрации) и искусственные (воды, накапливающиеся в котлованах и траншеях, утечки из водных коммуникаций, сбросы производственных вод).

При формировании искусственного режима застраиваемой территории важную роль играют геологические факторы. В результате земляных работ, связанных с вертикальной планировкой, отрывом котлованов, траншей, образуются отвалы насыпных грунтов. Таким образом, создается зона грунтов повышенной проницаемости, подстилаемых грунтами меньшей проницаемости. В насыпных грунтах скапливается гравитационная вода, а на границе грунта нарушенной и ненарушенной структуры возникает зона капиллярного насыщения. Капиллярное просачивание влаги в грунты основания вызывает их увлажнение и появление сырости в заглубленных помещениях.

Большое значение при формировании процесса подтопления территории имеет наличие слабопроницаемых прослоек или слоев грунта, имеющих

меньшие коэффициенты фильтрации, чем соседние слои. При строительстве в связи с уплотнением грунта основания, например при забивке свай, создаются зоны пониженной проницаемости с появлением местного подпора грунтовых вод.

Мероприятия против подтопления разделяют на предупредительные и защитные. Предупредительные мероприятия должны быть предусмотрены на стадии проектирования и основаны на результатах прогноза: локальные меры защиты, организация стока поверхностных вод и активизация подземного стока, устройство дренажных сооружений, экранов и противофильтрационных завес, предупреждающих инфильтрацию поверхностных вод и утечек из коммуникаций и т.д. Защитные мероприятия, как правило, осуществляются при эксплуатации сооружений, а также при наличии на территории строительства высокого уровня грунтовых вод. Они должны предохранить от подтопления заглубленные помещения, а также грунты основания, так как увеличение их влажности приводит к изменению физико-механических свойств, уменьшению несущей способности основания и, как следствие, к появлению деформаций.

Возможность повышения уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях, как правило, в проектах не учитывалась, поэтому и защитные мероприятия на этой стадии не предусматривались. В последнее время о необходимости учета возможности подтопления было указано в СНиП 2.02.01-83 "Основания зданий и сооружений" (раздел "Подземные воды") и СНиП I.02.07-87 "Инженерные изыскания для строительства" (раздел "Изыскания для проекта"). Предусмотренные в нормативных документах по строительству требования, касающиеся учета возможного повышения уровня грунтовых вод при строительстве и эксплуатации, не всегда выполняются. Здания и сооружения необоснованно проектируются и строятся без профилактической защиты от подтопления, в результате чего происходит подтопление заглубленных помещений, нарушается режим нормальной эксплуатации, а при агрессивности среды ослабляется материал конструкций подземных сооружений и фундаментов.

При производстве инженерно-геологических изысканий на подтапливаемых территориях необходима организация режимной сети наблюдательных скважин, которая при строительстве и эксплуатации сооружений должна дополняться скважинами для того, чтобы наряду с изучением изменения химического состава грунтовых вод можно было устанавливать влияние отдельных источников питания на режим уровней грунтовых вод и своевременно принимать меры по устранению утечек.

Защитные мероприятия от подтопления грунтовыми водами, как правило, осуществляются двумя способами: дренажными устройствами, понижающими уровень грунтовых вод, или гидроизоляцией. Выбор способа защиты должен определяться технико-экономическим сравнением предложенных вариантов. Одним из наиболее распространенных способов инженерной защиты сооружений от подтопления является устройство горизонтальных и вертикальных дренажей различного типа (траншейные, закрытые беструбчатые,

трубчатые, галерейные, пластовые). Отвод подземных вод осуществляется самотеком, направленным к коллекторам, сбросным линиям или водосборникам насосных станций. В качестве материала труб используются асбестоцемент, бетон, чугун, керамика. Выбор материала труб определяется степенью агрессивности среды. Минимальные уклоны дренажных труб принимаются в зависимости от их диаметра: 0,005 для диаметра до 150 мм и 0,003 для диаметра 200–300 мм. Материалы для фильтров применяются двух видов – тканые и нетканые. При их использовании необходимо устраивать обсыпку песчаного грунта с большим коэффициентом фильтрации, чем осушаемый.

Горизонтальный трубчатый дренаж является одним из распространенных видов дренажа. Он прокладывается обычно параллельно фасадам. Дренажные трубы укладываются на песчаную подготовку, траншея засыпается на всю высоту песком с коэффициентом фильтрации, как правило, не менее 5 м/сут. На поворотах и пересечениях дренажных линий в плане и при изменении уклонов, но не реже чем через 50 м, на прямых участках устраиваются смотровые колодцы, выполненные из сборных железобетонных элементов. Дренажные насосные станции оборудуются двумя насосами, один из которых является резервным. Управление насосами осуществляется автоматически.

При устройстве вертикального дренажа в качестве водоподъемного оборудования применяются скважинные насосы различных марок. Оголовок скважины размещается в подземной камере из железобетонных стеновых колец. Конструкция скважины выполняется из сборных железобетонных элементов, за исключением фундаментов, устраиваемых из монолитного бетона. Отвод дренажных вод из скважины осуществляется в отводящий коллектор из железобетонных труб.

В качестве защиты от подтопления применяется пластовый дренаж, представляющий собой слой фильтрующего материала, укладываемого в основание сооружений. Отвод воды осуществляется при помощи дренажного лотка или канав. Пластовый дренаж выполняется однослойным или двухслойным. Однослойный пластовый дренаж, щебеночный или гравийный, рекомендуется устраивать при наличии в основании сооружения скальных или полускальных трещиноватых грунтов. Двухслойный дренаж устраивается в глинистых грунтах и в пылеватых мелких песках.

В некоторых случаях пластовые дренажи комбинируются с пристенными, представляющими собой вертикальный слой из фильтрующегося материала, примыкающий к пластовому дренажу. Верхняя отметка пристенного дренажа должна превышать максимальную отметку уровня грунтовых вод не менее чем на 0,3 м.

В ответственных случаях применяется галерейный дренаж высотой 1,2–1,6 м и выше. Уклон дренажных галерей принимается, как правило, не менее 0,003 в сторону выпуска.

Процесс подтопления на территории Москвы до середины 60-х годов был развит относительно локально и специально не изучался. Вопрос о

необходимости тщательного изучения этого процесса был поставлен в конце 70-х годов после проведения инженерно-геологических и гидрогеологических исследований организациями Министерства геологии. Развитию процесса подтопления способствовало интенсивное освоение городской территории, которое сопровождалось развитием дорожно-транспортной сети, освоением подземного пространства, увеличением плотности и этажности застройки, нарушением растительного покрова, увеличением асфальтовых покрытий, засыпкой естественных дрен и др.

Некачественная заделка пазух котлованов при проведении строительных работ, утечки из водонесущих коммуникаций, наличие мокрых технологических процессов, искусственный подпор грунтовых вод различными сооружениями (барражный эффект) наряду с особенностями геолого-литологического строения территории Москвы являются основными причинами развития подтопления.

Анализ влияния геолого-литологических и гидрогеологических условий территории на процесс подтопления позволил выделить следующие типы участков по характеру подтопляемости: 1) исходно подтопленные; 2) потенциально подтопляемые; 3) неподтопляемые.

К первому типу относятся флювиогляциальные низменные равнины Мещеры (область В) и пойменные участки рек Москвы, Яузы и их притоков (область Г). Определяющим признаком является естественная обводненность грунтов с глубиной залегания грунтовых вод 0-3 м. Следует отметить, что здесь наблюдается и техногенное подтопление, интенсивность которого сдерживается относительно высокой проницаемостью слагающих пород.

Потенциально подтопляемые участки распространены в пределах областей А и Б. Глубина залегания грунтовых вод здесь преимущественно более 3 м. Развитие процесса подтопления в Москве в пределах Московской кольцевой автомобильной дороги развито в бассейнах рек Чуры, Кровянки, Раменки и Котловки, где сформировался постоянный водоносный горизонт в покровных суглинках, флювиогляциальных песках, а также в верхнем слое моренных суглинков.

К неподтопленным районам относятся территории, приуроченные в основном к надпойменным террасам области Г.

Подтопление территории нередко сопровождается рядом неблагоприятных процессов. Глинистые грунты в условиях обводнения обладают высокой коррозийной активностью, которая способствует усилению потерь из подземных коммуникаций. По данным Н.С.Просунцовой [22], наибольшей коррозионной активностью обладают бассейны рек Чуры, Котловки, Чертановки, Городни, Раменки, южный и северный склоны бассейна р.Лихоборки, бассейны рек Чермянки, Неглинки, Пресни (в верховьях). На повышение коррозионной активности пород существенное влияние оказывает близость магистралей электрифицированного рельсового транспорта (метро, трамвай, железные дороги). Усиление обводненности пород приводит к активизации коррозионных процессов.

Обводнение верхней части четвертичных отложений способствует проявлению в бортах не полностью засыпанных рек, ручьев и оврагов мелких оползней типа оплывин. Вдоль засыпанных русел водотока вследствие подпора грунтовых вод наблюдается проявление линейной суффозии с оседанием поверхности техногенных отложений. Вдоль набережных р.Москвы также отмечается проявление суффозии, особенно у закрепленных оползневых склонов. В виде оседаний поверхности земли суффозия проявляется вдоль трасс подземных коммуникаций. В большинстве случаев размеры оседаний невелики. Обводнение четвертичных отложений усиливается проявлением морозного пучения глинистых и песчано-глинистых грунтов.

На территории Москвы в настоящее время действуют три крупные дренажные системы, обеспечивающие защиту прилегающих территорий от подтопления. Замоскворецкий береговой вертикальный дренаж был сооружен в 1937 г. Трасса дренажа заложена вдоль правого берега р.Москвы от Шлюзовой набережной до Даниловской. Ее протяженность 4 км. По данным наблюдений за положением грунтовых вод в зоне действия Замоскворецкого дренажа за 1960 и 1984 гг., уровни грунтовых вод повысились за этот период в среднем на 2-3 м, что объясняется плохим эксплуатационным состоянием дренажных сооружений: выходом из строя значительной части водопонизительных колодцев-фильтров сифонных трубопроводов. Подтопление территории грунтовыми водами подтверждается данными санэпидстанции о наличии большого количества подтопленных подвальных помещений в зоне действия Замоскворецкой системы дренажа.

Для снижения и стабилизации уровня грунтовых вод на абсолютных отметках, исключающих подтопление территории, были сооружены системы горизонтальных дренажей в Лужниках, в плодовом саду ВДНХ, в жилом районе Вешняки-Владычино. В периферийных районах города при строительстве на участках с высоким уровнем грунтовых вод для защиты подземных частей зданий и инженерных сооружений устраиваются локальные дренажи. По данным управления по ремонту и эксплуатации коллекторов и водостоков, протяженность пристенных дренажей на территории Москвы в 1985 г. составила III км.

Анализ ситуации, сложившейся на территории города с подтоплением, позволяет сделать вывод, что защитные мероприятия оказались неэффективными вследствие того, что строительством осуществлен не весь объем запроектированных дренажей, а из построенных значительная часть пришла в негодность, не эксплуатируется или находится в аварийном состоянии.

Нужно отметить также, что существующая практика проектирования дренажей не предусматривала прогнозных оценок подтопления территорий, вследствие чего многие участки, где подтопление развилось в недавний период, оказались незащищенными дренажем. Примером этого является жилой район Марьино, при проектировании которого была предусмотрена защита заглубленных частей зданий локальными дренажами с глубиной заложения 3-4 м. После осуществления проекта застройки и эксплуатации жилого района оказалось, что значительная часть территории подтоплена, несмотря на наличие дренажных сооружений. Анализ сложившейся ситуации показал, что

при проектировании не были учтены изменения гидрогеологических условий в процессе эксплуатации территории и поэтому задача защиты от подтопления всего района в целом даже не ставилась. Локальные дренажи не могли оказать эффективного осушительного действия. Как показали расчеты, проведенные в секторе инженерной подготовки территории и защиты геологической среды НИПИ Генплана г.Москвы, необходимое понижение уровня грунтовых вод на данной территории может быть достигнуто только в случае достаточно близкого расположения локальных дренажных систем друг от друга.

Защитные мероприятия предусматривали лишь ликвидацию подпора или понижение естественного высокого уровня грунтовых вод и не были рассчитаны на борьбу с инфильтрационным подтоплением. С развитием процессов подтопления существующие системы дренажа оказались недостаточно эффективными, а на ряде участков и неспособными ликвидировать подтопление, вызванное дополнительным инфильтрационным питанием. Специфика инфильтрационного подтопления требует принципиально новых систем инженерной защиты.

В целом нужно отметить, что состав мероприятий по борьбе с подтоплением зависит в первую очередь от фильтрационных свойств водонасыщенных грунтов, гидрогеологических условий. Предупредительные мероприятия направлены на уменьшение инфильтрационного питания и за счет этого на ослабление процесса подтопления, защитные — на увеличение разгрузки грунтовых вод искусственным путем. К основным предупредительным мероприятиям относятся: организация отвода поверхностного стока, максимальное сохранение естественного рельефа и водотоков при планировке территории, устройство водостоков и дренажей в засыпаемых оврагах с расчетом на отвод всего существующего до засыпки поверхностного и подземного притока к ним воды, размещение подземных водонесущих коммуникаций в проходных галереях с устройством для отвода утечек воды, устройство гидроизоляционных экранов в резервуарах, прудах-отстойниках и других искусственных водоемах, устройство профилактических пластовых дренажей зданий и подземных сооружений. К основным защитным мероприятиям относится устройство дренажных систем и противоинфильтрационных завес.

Поскольку инфильтрационное подтопление большей частью связано с некачественным строительством и монтажом сетей и сооружений, в результате чего образуется высокий дополнительный приток воды на поверхность грунтовых вод, то предупредительные мероприятия могут иметь очень большое значение в предотвращении подтопления. Основные предупредительные мероприятия должны быть направлены на уменьшение инфильтрационного питания за счет утечек из водонесущих сетей и поверхностного стока: подземной прокладке сетей предпочтительнее галерейная проходка, дающая возможность улавливать утечки и отводить их из галерей, не допуская инфильтрации воды в грунт. Большое внимание должно быть обращено на качественное уплотнение стыков труб и арматуры в сетях водоснабжения, канализации и теплосети.

В условиях московского строительства при наличии разветвленной сети водостоков, заглубленных сооружений необходимо применять сопутствующие дренажи на всех подземных магистралях, которые могут совмещаться с водостоками, прокладываться вдоль галерей, кабельных каналов и прочих протяженных сооружений. В моренных суглинках с низкими фильтрационными свойствами ($K_{\text{ф}} < 1 \text{ м/сут}$) эффективность сопутствующих дренажей неточна, поэтому необходимо осуществлять активную защиту сооружений и сетей гидроизоляциями или продольными дренажами, представляющими собой пластовые постели под дном галерей и засыпки у них вертикальных стенок. На участках, где мощность моренных суглинков невелика и они подстилаются песками, возможно устройство дренажных прорезей на всю глубину слабопроницаемых пород вертикальными скважинами ($K_{\text{ф}} > 5 \text{ м/сут}$). При мощности морены 3–5 м возможно сочетание прорезей с горизонтальными дренажами, укладываемыми в пласт флювиогляциальных песков, подстилающих моренные суглинки.

Аналогичные решения применяются на участках переслаивания песков и суглинков разной проницаемости, где флювиогляциальные отложения залегают с поверхности. В этом случае прокладка горизонтального дренажа должна быть приурочена к наиболее проницаемому слою.

В случае однородных флювиогляциальных песков, залегающих с поверхности территории, рекомендуются горизонтальные дренажи, преимущественно кольцевого типа, ограждающие отдельные здания и сооружения или их группы. При этом целесообразно отдельные кольцевые дренажи объединять единой системой водосбора. Такие объединенные системы кольцевых дренажей превращаются в систематическую сеть, эффект воздействия которой на территорию выше, чем отдельных локальных систем.

Прогноз изменений геологической среды. Прогноз гидрогеологической обстановки территории Москвы на перспективу 2010 г. с использованием автоматизированной информационной системы постоянно действующих моделей геологической среды (АИС ЦДМ), реализованной к настоящему времени в МГЭ ПО Центргеология показал, что инфильтрационное питание грунтовых вод к 2010 г. увеличится на 40 мм/год на селитебных территориях и на 100 мм/год в пределах промзон, что будет способствовать подъему уровня грунтовых вод. Особенно изменится уровенный режим на резервных территориях. Прогноз осуществляется при условии сохранения современного уровня водоотбора из каменноугольных отложений и сложившихся методов градостроительного освоения территории, а также способов эксплуатации подземных инженерных сетей.

Наиболее существенные изменения будут отмечаться в южной и юго-западной частях города, на территориях, сложенных с поверхности моренными суглинками. Это связано с интенсивным хозяйственным освоением и эксплуатацией территории. Здесь следует ожидать дальнейшего развития техногенного обводнения верхней части четвертичных отложений и образования новых водоносных горизонтов. Процесс обводнения четвертичных отложений станет более интенсивным, если будет продолжаться засыпка оврагов и

малых водоемов, которые являются естественными дренами. Кроме того, проектируемая здесь схема обводнения может также способствовать развитию процесса подтопления.

Наибольший подъем уровня грунтовых вод следует ожидать на территориях промзон при модификации производственного процесса (до 7 м). Для селитебной территории подъем уровня грунтовых вод составляет 1-3 м. При этом можно ожидать активизации оползней неглубокого заложения (четвертичных) по бортам оврагов, а особенно по бортам котлованов и канав, закладываемых при строительстве. Практически на всех локально подтапливаемых территориях, сложенных глинистыми грунтами, существует вероятность оплывания грунта по бортам строительных выемок.

Для северной части Москвы, в основном на территориях промзон, также отмечается возрастание площадей с глубинами залегания уровня грунтовых вод до 3 м, что связано с потерями в результате растущего водопотребления.

В районах распространения флювиогляциальных песков на востоке Москвы, где грунтовые воды исходно залегают близко к поверхности (0-3 м), повышение уровня не будет превышать 0,5 м.

В пределах долинного комплекса не предполагается значительных изменений гидрогеологических условий. Тем не менее в условиях распространения техногенных отложений значительной мощности (от 3 до 20 м, в основном в пределах Садового кольца) утечки из водонесущих коммуникаций будут способствовать увлажнению техногенных грунтов, что приведет к снижению несущей способности грунтов оснований и деформации зданий и сооружений. Вследствие неоднородного состава техногенных отложений можно ожидать образования в них верховодок с агрессивными свойствами.

По уровню прогнозируемого водопотребления (вследствие высокой плотности застройки и насыщенности территории значительным количеством влагоемких производственных предприятий и научных учреждений) на общем фоне города выделяется западный район Хорошево-Мневники. Кроме того, проектируемая здесь линия метрополитена Митино-Бутово потребует больших откачек из подольско-мячковского водоносного горизонта (вследствие его высокой водообильности). Такая высокая техногенная нагрузка может вызвать на этой территории активизацию карстово-суффозионных процессов.

Равновесие, сложившееся в Марьино, может быть нарушено, поскольку в дальнейшем в этом районе планируется расширение как жилых массивов, так и промпредприятий. Тенденции к этому уже наметились в настоящее время. Северо-восточнее Марьино наблюдается область снижения поверхности грунтовых вод, связанная, видимо, с работой водозаборов, а утечки из водонесущих коммуникаций будут способствовать активизации карстово-суффозионных процессов. С дополнительным увлажнением пород может быть связана активизация и глубоких юрских оползней в долине р.Москвы.

Сохранение благоприятной обстановки ожидается лишь в Митино, где основанием сооружений являются флювиогляциальные пески с уровнем зале-

гания грунтовых вод более 10 м. Незначительный его подъем на 1-2 м не изменит ситуации.

Таким образом, результаты выполненного прогноза свидетельствуют о дальнейшем развитии тенденции ухудшения качества геологической среды и ставят вопрос о необходимости инженерной защиты территорий. Система инженерной защиты должна быть направлена на стабилизацию существующего состояния геологической среды, а в отдельных случаях на искусственное формирование ее инженерно-строительных свойств, отвечающих требованиям перспективной планировки, застройки, освоения подземного пространства и других форм градостроительного использования.

Выделенные инженерно-геологические области на территории Москвы позволяют рассмотреть инженерную защиту в общем виде по областям. Предупредительные мероприятия для областей А и Б заключаются в максимальной сохранении природного рельефа, обеспечении территории рациональной системой отвода поверхностного стока, а также в проведении мероприятий по предотвращению утечек из водонесущих коммуникаций.

К югу от долины р.Москвы (область А) нет гидравлической связи между формирующимся горизонтом в верхней части разреза и подморенным водоносным горизонтом, поэтому названные предупредительные мероприятия приобретают основное значение. В качестве защитных мероприятий рекомендуются пластовые локальные дренажи. На территории области Б (к северу от долины р.Москвы) водоносные горизонты верхней части разреза имеют гидравлическую связь с подморенным горизонтом, поэтому здесь следует рассмотреть возможность объединения локальных дренажей в систему с единым водоотводом, в том числе и со сбросом в подморенные горизонты при наличии в них водоприемной емкости (в случае отсутствия создание ее устройством вертикальных скважин).

Территория области В (часть Мещерской низменности) является исходно подтопленной, поэтому мероприятия здесь также направлены на борьбу с подтоплением. В качестве основных необходимо рассматривать предупредительные градостроительные и инженерные мероприятия: архитектурно-планировочные решения, обеспечивающие рациональную вертикальную

планировку для отвода поверхностных вод при максимальном сохранении природного рельефа; построение пространственных композиций с минимальным вторжением в подземное пространство; инженерные инфраструктуры, обеспечивающие рациональное распределение водоподачи и минимальную плотность сети; использование дренирующего действия водотоков (в том числе заключенных в коллекторы) путем их регулирования; мероприятия по устранению утечек из сетей и емкостей; при функциональном зонировании территории следует размещать промзоны вне участков развития техногенных и озерно-болотных отложений большой мощности.

Для долинного комплекса р.Москвы с притоками (область Г) предупредительные мероприятия включают, помимо рекомендуемых для области В, также продолжение эксплуатации действующих водозаборов и дренажей метрополитена в существующем режиме для избежания подтопления территории;

использование оползневых склонов в качестве зеленых зон; ведение строительства в районах реконструкции в условиях существующей застройки новыми методами, исключаящими или уменьшающими деформацию существующих зданий.

В целом состояние дел с защитой от опасных геологических процессов обстоит неудовлетворительно.

В связи с тем что процесс подтопления занимает важное место в структуре ущербобразующих факторов, вызывающих трансформацию геологической среды и негативные изменения взаимодействующих с ней материально-технических объектов, возникла актуальная необходимость в оценке экономического ущерба от подтопления. Для этого были привлечены различные соответствующие исходные данные, проанализированы существующие методики оценки ущерба от подтопления на территории Москвы. На основании укрупненных нормативов и проектных данных института Гипрокоммунстрой с учетом динамики уровня режима грунтовых вод и особенностей дифференцированных инженерно-геологических условий территории Москвы был выполнен ориентировочный расчет стоимости защитных мероприятий от подтопления. Потребность в капитальных вложениях на осуществление комплекса работ по понижению грунтовых вод в ближайшие 20 лет определилась в размере 743 млн руб.

Защитные мероприятия при наличии карстово-суффозионных процессов.

На территории Москвы можно выделить несколько микрорайонов, характеризующихся наличием карстово-суффозионных процессов. Они проявляются в оседании земной поверхности, а также в образовании провалов, ям и колодцев диаметром от 2 до 40 м и глубиной до 8 м, способных к периодическому "оживлению" и развитию. Провалы наиболее опасны для сооружений в карстовых районах. Они характеризуются резким очертанием в плане с разрывом сплошности грунтов в плане и по глубине.

Наиболее широко карст развит в пределах области Г на участках, где карбонатные породы имеют непосредственный выход на дневную поверхность (долина р.Пахры) либо перекрыты толщей песков (долина р.Москвы).

Начало изучения карстово-суффозионных процессов на территории Москвы относится к 1970 г. Ранее считалось, что поверхностные проявления карста здесь отсутствуют или, во всяком случае, для города не опасны. Разрушение зданий в районе Хорошевского шоссе показало опасный характер проявлений карста.

В результате работ ПО Центргеология и Гидроспецгеология на территории Москвы и ЛПЗП выделены карстоопасные участки и участки с возможным проявлением карстово-суффозионных процессов.

Для карстовых воронок характерно расположение группами по две-три, повторяемость их возникновения на одном и том же месте. На территории Ворошиловского, Фрунзенского и Краснопресненского районов отмечено 37 воронок и оседаний поверхности ориентировочно карстово-суффозионного происхождения. В июле 1987 г. на улице Тухачевского около 16-ти этаж-

ного дома зафиксирована воронка диаметром 12 м, глубиной 2 м. По данным ПО Гидроспецгеология происхождение воронки карстово-суффозионное.

Исследованиями установлено, что активизация карстово-суффозионных процессов на территории Москвы происходит только при инженерно-хозяйственной деятельности.

При проектировании сооружений в карстовых районах необходимо определить залегание карстующих пород по отношению к уровню подземных вод и земной поверхности. Особенно важно правильно определить глубину залегания карстующих пород и свойства перекрывающих пород для оценки степени карстоопасности застраиваемой территории и надежности проектируемых защитных мероприятий. Основные положения по проектированию зданий и сооружений в районах Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов нашли отражение в Инструкции, изданной Мосгорисполкомом, ГлавАНУ, Моспроектом-1 и Мосгоргеотрестом в 1984 г. [28]. Согласно этой инструкции районы, характеризующиеся проявлением карстово-суффозионных процессов, подразделяются на опасные, потенциально опасные и неопасные для строительства.

Опасные районы представляют собой зоны техногенной активизации карстово-суффозионных процессов и зоны современных поверхностных проявлений карста. К числу районов, потенциально опасных для строительства, относятся зоны со следами древних поверхностных проявлений карста. Эти зоны приурочены в основном к долине р.Москвы, где полностью размыты глинистые юрские отложения и четвертичные отложения залегают непосредственно на известняках карбона. Погребенная долина врезана в известняки верхнего и среднего карбона на глубину до 40-50 м и заполнена флювиогляциальными песчаными отложениями.

В опасных районах рекомендуется предусматривать сочетание двух основных мер защиты: инженерно-геологических по ликвидации причин, вызывающих образование провалов, и инженерно-технических по защите и сохранению зданий от воздействий, возникающих при провальных явлениях.

В потенциально опасных районах рекомендуется предусматривать противокарстовые мероприятия, обеспечивающие защиту зданий от разрушения.

В инструкции по проектированию зданий и сооружений в районах г.Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов в качестве инженерно-геологических мер защиты рекомендуются следующие: тампонирующие трещины и полости цементными растворами, бетоном или бесцементными нерастворимыми материалами; закрепление закарстованного массива с помощью цементации, силикатизации или смолизации; регулирование гидрогеологической обстановки с целью стабилизации или замедления карстово-суффозионного процесса.

Одним из мероприятий инженерно-технической защиты является устройство автоматической системы сигнализации, информирующей о возможных деформациях в связи с проявлением карстово-суффозионных процессов. Кроме того, для тампонирувания карстовых воронок, которые могут возник-

нуть, следует предусмотреть в проектах зданий устройство в полах подвалов и в фундаментах сквозных отверстий для нагнетания цементного раствора или бетона.

В опасных районах строительство зданий и сооружений допускается только при наличии соответствующего обоснования. В качестве фундаментов предусматриваются сваи различной конструкции, которые должны прорезать карстовую толщину или полость и опираться непосредственно на известняки.

В потенциально опасных районах в качестве фундаментов следует применять, как правило, монолитные железобетонные сплошные плиты или перекрестные ленты. В случае применения свайных фундаментов ростверк следует проектировать монолитным в виде перекрестных лент или сплошной плиты. При применении ленточных фундаментов в их конструкции должны быть предусмотрены перекрестные консоли длиной от 1,5 до 6 м, выступающие за пределы фундамента.

В инструкции разработаны рекомендации по привязке типовых проектов жилых домов и зданий культурно-бытового назначения в районах Москвы, потенциально опасных в отношении карстово-суффозионных процессов. Кроме противокарстовых, существует целый ряд мероприятий, применение которых может быть эффективно в зависимости от конкретных условий: 1) до начала строительства; 2) во время строительства; 3) в период эксплуатации объектов.

Из мероприятий первой группы следует упомянуть перспективный метод закрепления основания с помощью буроинъекционных свай, а также устройство противофильтрационных вертикальных и горизонтальных завес. В предпостроечный период рекомендуется также осуществить организацию стока поверхностных вод. Целесообразно, кроме того, организовать сеть наблюдательных гидрогеологических скважин, позволяющих контролировать уровень, скорость и направление движения подземных вод, а также инструментальный контроль за оседанием земной поверхности. Из мероприятий, осуществляемых в период строительства, следует указать на устройство гидроизоляционного покрытия территории и применения армированного грунта.

При проектировании сооружений в районах, характеризующихся суффозионно-карстовыми явлениями, следует располагать их в зависимости от параметров карстовых форм с одновременным регулированием плотности застройки. Кроме того, надежной эксплуатации здания может способствовать сокращение числа температурных и деформационных швов до минимума. Если суффозионно-карстовый процесс проявляется в образовании мульды оседания, следует разбить конструкцию здания на укороченные отсеки. Из конструктивных защитных мероприятий рекомендуется усиление несущих элементов конструкций введением дополнительных связей (в каркасных зданиях), горизонтальным армированием или обоймами, устройством податливых соединений в крупнопанельных элементах.

В ряде случаев в качестве защитной меры может быть изменение конструкции фундамента, например увеличение площади опирания с целью уменьшения контактного давления на основание. При устройстве свайного фундамента число свай принимается увеличенным, а сама конструкция сопряжения свай с ростверком обеспечивает их выпадение при провале.

В процессе строительства в условиях, характеризующихся проявлением суффозионно-карстовых процессов, следует продолжать наблюдения за осадками земной поверхности, гидрогеологическим режимом, а также организовывать наблюдения за деформациями конструктивных элементов здания и за состоянием конструкций в целом.

В качестве защитных мероприятий третьей группы, осуществляемых в период эксплуатации сооружений, предусматриваются мероприятия, непосредственно влияющие на развитие суффозионно-карстового процесса, и мероприятия, целью которых является защита самого сооружения от воздействий карстового процесса при его активизации. Предотвращению развития процесса могут способствовать гидроизоляционное покрытие территории, устройством противодиффузионных завес, заполнение образовавшихся полостей различными тампонажными растворами, закрепление грунта различными способами, вертикальная планировка участка, обеспечивающая отвод поверхностных вод от сооружения. Защитой сооружения в стадии его эксплуатации являются различные способы усиления его конструкций и изменение его геометрии, включая фундаменты. Кроме того, специальная служба должна продолжать наблюдения за сетью гидрогеологических скважин, за оседанием земной поверхности и за деформациями элементов сооружения, а также контролировать состояние дождевой и промышленной канализации во избежание утечек.

В книге Р. Леггета "Города и геология" [43] указывается на оригинальное использование карстовых воронок в городской инфраструктуре. Если известно геологическое строение местности и определено направление движения подземных вод, то провальные воронки могут быть использованы для сброса поверхностных вод.

В карстоопасных районах необходимо особенно тщательно проводить инженерную подготовку территории под застройку. Особое внимание следует обратить на организацию поверхностного стока и дренаж подземных вод, ликвидацию трещин и пустот на поверхности земли и в толще массива путем засыпки и тампонажа водоупорными материалами. С целью обеспечения прочности, устойчивости и эксплуатационной пригодности зданий и сооружений необходимо устройство специальных фундаментов. При эксплуатации водонесущих коммуникаций необходимо полностью устранить возможные утечки. При проектировании трасс метрополитена следует учитывать возможную активизацию карстово-суффозионных процессов и в соответствии с этим предусматривать инженерные защитные мероприятия.

Защитные мероприятия, направленные на предотвращение неблагоприятных изменений геологической среды, классифицируются в зависимости от инженерно-геологических условий и структур городской застройки.

По структуре городской застройки в Москве выделяются следующие зоны: исторический центр (I), реконструируемая историческая застройка (2), микрорайонная застройка, включая застройку с замкнутыми группами зданий (3), микрорайонная башенная застройка (4), промышленные зоны (5), парковые и рекреационные зоны (6).

Для исторического центра характерна наиболее плотная застройка (до 40-45%) квартально-уличного типа с малой (до I,5 га) площадью кварталов. Кварталы застроены зданиями по контуру и внутри с образованием дворов площадью 0,1-0,15 га. При реконструкции исторического центра возводятся новые строения повышенной этажности за счет сноса ветхого фонда. Кварталы укрупняются до 6-9 га, и плотность застройки уменьшается до 30 %. Несколько увеличивается расстояние между внутриквартальными проездами.

При микрорайонной застройке площади микрорайонов составляют 24-25 га, при этом расстояния между внутриквартальными проездами сохраняются примерно на уровне квартально-уличной застройки. Плотность застройки до 20-22 %. Площадь микрорайонов с замкнутыми группами зданий вырастет до 40-45 га, при этом существенно увеличиваются расстояния между внутриквартальными проездами до 450 м, и уменьшается плотность до 15-17 %.

При микрорайонной башенной застройке показатели остаются примерно на том же уровне, но уменьшается плотность застройки.

По сочетанию инженерно-геологических областей (А, Б, В, Г) и структур застройки (I, 2, 3, 4, 5, 6) выделяются следующие геолого-градостроительные комплексы (ГТК):

А	3	4	5	6
Б	3	4	5	6
В	3	4	5	6
Г	I	2	3	4

В соответствии с указанными ГТК инженерные защитные мероприятия классифицируются по табл. 26.

Т а б л и ц а 26. Классификация инженерных защитных мероприятий от воздействия изменений геологической среды в Москве

ГТК	Виды инженерных защитных мероприятий
A3	1. Перекладка амортизированных сетей
A4	2. Гидроизоляция надземных частей зданий и сооружений
A5	
B3	3. Регулирование поверхностного стока
B4	4. Пластовые и пристенные дренажи зданий
B5	5. Сопутствующие дренажи подземных галерей
	6. Вакуумные дренажные системы (локальные)
B3	1. Перекладка амортизированных сетей

Таблица 26 (окончание)

ГГК	Виды инженерных защитных мероприятий
В4	2. Регулирование поверхностного стока
В5	3. Гидроизоляция подземных частей зданий и сооружений 4. Кольцевые и систематические дренажи горизонтального типа 5. Сопутствующие дренажи подземных галерей 6. Вакуумные дренажные системы на участках слабопроницаемых грунтов
П1	1. Перекладка амортизированных сетей 2. Регулирование поверхностного стока 3. Вертикальные дренажи с одиночными скважинами, погружаемыми на всю мощность песков, или грунтовые системы скважин глубиной до 20 м 4. Сопутствующие дренажи подземных вод 5. Противооползневые мероприятия на склонах 6. Кольцевые и систематические дренажи на локальных участках застройки 7. Противофильтрационные завесы на участках уникальных сооружений в зонах напора грунтовых вод 8. Специальные методы фундирования на участках проявления карстово-суффозионных процессов 9. Берегоукрепление рек
Г3	1. Перекладка амортизированных сетей
Г4	2. Регулирование поверхностного стока 3. Кольцевые и систематические дренажи горизонтального типа 4. Сопутствующие дренажи подземных галерей 5. Вертикальный дренаж линейного типа 6. Противооползневые мероприятия на склонах 7. Берегоукрепление рек
А6	1. Регулирование поверхностного стока
Б6	2. Противооползневые мероприятия
В6	3. Закрепление оврагов
	4. Систематический дренаж открытого и закрытого типов

Комплексный подход к инженерной защите территории от опасных геологических процессов, а также совершенствование технологии строительных работ в конкретных инженерно-геологических условиях должны гарантировать сохранность геологической среды города.

Организация литомониторинга

Задача прогнозирования и оценки состояния природно-техногенной системы, которую представляет собой городская агломерация, требует создания, в свою очередь, информационной системы о динамике развития в

пространственно-временных координатах всех природно-техногенных компонентов. Такой информационной системой является литомониторинг.

Литомониторинг – частный случай или подсистема мониторинга окружающей среды. Обобщая определения, данные мониторингу вообще [56] и литомониторингу в частности 60: с.6-II, I5-I9, 3I-32, 32-34, 50-52, 65-68, 87-90, I05-I06; [75], можно сделать следующее заключение. Литомониторинг – оперативное, спланированное в пространстве и времени наблюдение за динамикой развития геологической среды и ее компонентов, диагноз и прогностический контроль этого развития с целью его корректировки (в идеале управления) при превышении допустимого уровня техногенного воздействия или при опасности возникновения негативных последствий.

Инженерно-геологические компоненты, требующие контроля, охраны и защиты, достаточно подробно охарактеризованы в предшествующих разделах. В отличие от других служб, деятельность которых направлена на создание иных подсистем мониторинга окружающей среды и для которых вопрос о придании мониторингу функций управления является дискуссионным и проблематичным или не возникает вовсе (например, для метеорологии), инженерная геология в силу своей специфики ближе остальных к правомерности включения задачи если не управления, то уж обязательно корректировки состояния системы "геологическая среда – инженерные сооружения".

Поскольку термин "управление" в формулировке литомониторинга недостаточно конкретен, пока правильнее вести речь о конструктивной реакции или корректировке и оптимизации негативных изменений в системе "геологическая среда – инженерные сооружения".

Специфика инженерной геологии, обеспечивающая ей компетенцию и обязывающая ее к конструктивной реакции, заключается в отношении к геологической среде как к объекту: 1) используемому в качестве источника и необходимой составной части геологических ресурсов; 2) являющемуся основанием и средой для возведения инженерных сооружений; 3) испытывающему воздействие от техногенной нагрузки и требующему защиты от допустимых нагрузок.

Недра – источник полезных ископаемых – служат подземным пространством для инженерных сооружений. Природные воды – едва ли не главный ресурс планеты, источник водоснабжения, рекреационного и бальнеологического использования, электроэнергии и прочего – наряду с этим являются основным приемником сточных вод и требуют охраны от загрязнения и истощения. Горные породы – минеральный ресурс и строительный материал – используются в качестве оснований и среды для инженерных сооружений и т.д. Приведенные примеры свидетельствуют о сильных обратных связях между элементами системы "геологическая среда – инженерные сооружения", требующих обязательного принятия конструктивных решений при негативном их взаимовлиянии.

Главная задача организации системы литомониторинга заключается в минимизации народнохозяйственных потерь в результате функционирования

природно-техногенных систем. Функционирование природно-техногенных систем включает последовательно: 1) возведение (устройство) техногенной подсистемы, заключающееся во "вписывании" ее в геологическую среду; 2) функционирование системы. На том и другом этапе оцениваются воздействие техногенной подсистемы на геологическую среду и обратное воздействие геологической среды на соответствующую систему. В результате этих воздействий могут происходить нарушения как функционирования техногенной системы в техническом и технологическом аспектах, так и состояния геологической среды, особенностями которой являются гетерогенность, низкая регенеративность, кумулятивность изменения, часто проявляющаяся в отдаленных последствиях. Конструктивная реакция на создающуюся ситуацию – изменение технологических решений, вовлечение новых энергетических и материальных ресурсов, выработка соответствующих рекомендаций, оценка и предотвращение эколого-экономического ущерба и др.

Информационной сутью мониторинга является изменчивость природно-технических компонентов. Изменчивость требует оценки с двух позиций: пространственной и временной. Изучение изменчивости в пространственно-временных координатах предполагает различную степень детальности и плотности во времени и пространстве, т.е. различные информационные уровни, диктуемые масштабом и характером народнохозяйственных (инженерно-геологических) задач, в процессе решения которых реализуется литомониторинг.

Пространственно-временная дифференциация основных факторов изменений обуславливает необходимость развития двух систем литомониторинга – общих и специальных проблем или региональных и локальных информационных уровней. К ним следует добавить и еще глобальный уровень информации (например, глобальные показатели – индикаторы загрязнения: свинец, "кислые" дожди, радиоактивные элементы и др.).

Специальные проблемы связаны с освоением участков геологической среды с нестационарным состоянием, в пределах которых наблюдаются "известные" опасности. Это прежде всего участки с наблюдаемым или вероятным развитием неблагоприятных инженерно-геологических процессов или участки с наличием слабо контролируемых источников критических техногенных воздействий. В пределах этих участков на основе априорного распределения вероятностей нестационарных состояний размещается соответствующая сеть.

Под нестационарным состоянием геологической среды в данном случае понимается состояние, при достижении которого возникает реальная опасность для снижения определенного уровня функционирования связанной с геологической средой техногенной или экологической подсистемы.

Специальные проблемы соответствуют локальному, общие – региональному и глобальному информационным уровням литомониторинга.

Принципы размещения общей сети литомониторинга основаны на необходимости учета различных геологических и зонально-климатических факторов и источников воздействия.

Общий литомониторинг ведется на таких звеньях организационной структуры, как межрегиональная станция, региональная станция, региональный пункт. Межрегиональная станция должна совмещаться с базовой станцией экологического мониторинга (по В.А.Ковде и А.С.Керженцеву). Региональные станции литомониторинга могут совмещаться с региональными станциями экологического мониторинга или организовываться отдельно, охватывая стационарными и маршрутными наблюдениями геологические тела низких порядков. Состояние геологических тел более высоких порядков контролируется региональными наблюдательными пунктами, отдельными режимными устройствами (общий литомониторинг), специальными наблюдательными пунктами и наблюдательными площадками (специальный литомониторинг). Те и другие наблюдательные звенья должны обеспечиваться информацией либо совмещаться со звеньями экологического мониторинга (региональными станциями, биосферными пикетами и др.).

Реализация системы литомониторинга должна предваряться обоснованием размещения станций и пунктов контроля и определением средств контроля, обеспечивающих получение набора контролируемых характеристик. На обоснование системы литомониторинга оказывают влияние: а) естественный геологический фон, характеризующийся параметрами определенного геологического тела квазиоднородного участка геологического пространства, ограниченного геологическими границами; б) интегральная техногенная (антропогенная) нагрузка, оказывающая многостороннее воздействие на биосферу, в том числе на геологические тела. Техногенная нагрузка включает комплекс источников и факторов всех видов воздействия на окружающую природную среду (использование природных ресурсов, загрязнение среды и др.).

В результате инвентаризации и последующей оценки источников и факторов техногенного воздействия могут быть выделены типы воздействия на геологическую среду (простые и комплексированные) и области их распространения.

Плотность и сложность сети литомониторинга должны определяться территориальным распространением литогенного экономического ущерба. Из проведенных исследований следует, что на хорошо освоенных территориях, где при прочих равных условиях степень зависимости ущербов от неблагоприятных геологических процессов повышается, плотность режимной сети должна быть увеличена.

Поскольку мониторинг вообще и литомониторинг в частности прежде всего информационная система, задача создания такой системы заключается в рациональной организации получения необходимой информации. Рациональная организация — это эффективность функционирования системы при минимальных затратах средств и времени на получение единицы информации [31, 32].

Принципиальные методические положения, лежащие в основе создания обоснованной системы литомониторинга, следующие:

1. Автоматизация и компьютеризация сбора, обработки (включая компьютерное моделирование динамики процессов), хранения, интерпретации и выдачи необходимой информации.

2. Экспрессность контрольно-диагностических операций, обеспечивающая адекватную своевременную конструктивную реакцию на изменения природно-техногенных компонентов.

3. Реализация принципа необходимости и достаточности в выборе приоритетных показателей для наблюдений. Чем реактивнее параметр на направленность техногенного процесса, тем он более информативен по отношению к этому процессу [33]. Реализация принципа необходимости и достаточности возможна при четкой формулировке критериев выбора необходимых показателей и способа их получения.

4. Совершенствование критериев и стандартов, к которым можно апеллировать при оценке изменений качества геологической среды.

Для осуществления обоснованной системы литомониторинга городской среды должны быть последовательно выполнены разработка, классификация и стандартизация: а) основных положений, терминов, видов, способов и средств организации литомониторинга; б) элементов геологической среды; в) зонально-климатических признаков; г) факторов техногенного воздействия с учетом их регулярности, интенсивности, взаимовлияния; д) показателей, оценивающих качественное и количественное состояние геологической среды и ее компонентов; е) критериев устойчивости геологической среды по отношению к техногенным воздействиям; ж) методов и технических критериев и средств оценки состояния геологической среды (оптимальных и предельно допустимых) с позиций ее взаимодействия с различными элементами техносферы и экосистем; з) систем передачи сигналов из блока литомониторинга в блоки контроля и управления, последующего использования полученных сигналов для оптимизации блоков контроля, литомониторинга, а также соответствующих элементов техногенной подсистемы и блоков планирования; и) порядка взаимодействия литомониторинга в системе общего мониторинга природы.

Таким образом, последовательная реализация указанных этапов разработки и внедрения системы литомониторинга позволит получить необходимое информационное обеспечение проектирования разноуровневых природно-техногенных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баркан Д.Д. Динамика оснований и фундаментов. М.; Л.: Стройвоенмориздат, 1948. 412 с.
2. Бахирева Л.В., Коффе Г.Л., Мамонтова С.А., Яранцева Е.Е. Оценка геологического и геохимического риска в схемах охраны геологической среды культурно-исторических зон // Инж.геология. 1989. № 6. С. 36-47.
3. Берлянт А.М. Образ пространства: Карта и информация. М.: Мысль, 1986. 240 с.
4. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
5. Бондарик Г.К., Пендин В.В. Методика количественной оценки инженерно-геологических условий и специального инженерно-геологического районирования // Инж.геология. 1982. № 4. С. 82-89.
6. Бреховских В.Ф., Злобина В.Л., Золотарева Н.С. Изучение гидробиоценозов напорных вод в карбонатных породах на урбанизированных территориях // Особенности и закономерности формирования вод суши. Поверхностные и подземные воды. М.: ИВПАН СССР, 1986. С. 338-352.
7. Викторов С.В. Ландшафтные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районах орошения и обводнения пустынь. М.: Недра, 1976. 56 с.
8. Востокова Е.А. Антропогенные изменения гидрогеологических условий по ландшафтно-индикационным данным // Биогеографические и индикационные исследования. М.: МГО СССР, 1977. С. 47-50.
9. Всеволожский В.А. Принципы стратификации гидрогеологического разреза // Вопросы гидрогеологии. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 196.
10. Гаврюхина А.А. Формирование подземных вод под влиянием искусственной разгрузки. М.: Наука, 1964. 102 с.
11. Глазовская М.А. Технобиогемы - исходные физико-географические объекты ландшафтно-геохимического прогноза // Вест. МГУ. Сер. 5, География, 1972. № 6. С. 23-35.
12. Голодковская Г.А., Зеегофер Ю.О., Лебедева Н.И. и др. Вопросы и методика комплексного картирования городских территорий для прогнозной оценки изменения геологической

среды // Новые типы карт: Методы их создания. М.: Изд-во МГУ, 1983. С. 48-73.

13. Голодковская Г.А., Лебедева Н.И. Инженерно-геологическое районирование территории Москвы // Инж.геология. 1984. № 3. С. 87-102.

14. Горбатюк О.В., Гурвич В.И., Коробейник Г.С. и др. Комплексное изучение районов с экстремальной техногенной нагрузкой на геологическую среду // Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территории городов и городских агломераций. М.: Наука, 1987. С. 103-104.

15. Гурвич В.И. Изучение вибрационного поля города геоакустическими методами // Геофизические и геохимические методы при решении экологических и техногенных проблем на урбанизированных территориях. М.: ВНИИГТ, 1985. С. 19-29.

16. Дубровин Н.И. Анализ и оценка инженерно-геологических условий Черноморского побережья Кавказа от р.Туапсе до р.Псоу: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал.наук. М.: ПНИИС, 1974. 28 с.

17. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972. 310 с.

18. Епишин В.К. Природно-техническая система. Свойства природно-технических систем // Теоретические основы инженерной геологии: Социально-экономические аспекты. М.: Недра, 1985. С. 36-45.

19. Епишин В.К., Алиев А.Г. Балансовые расчеты по геодинамике территории г.Баку // Тр.ПНИИС Госстроя СССР. 1972. Т. 16. Современные геологические процессы и строительство. С. 168-180.

20. Жигалин А.Д., Локшин Г.П., Просунцова Н.С. Техногенные физические поля и инженерно-геологическая обстановка в городах // Проблемы инженерной геологии городов. М.: Наука, 1983. С. 69-71.

21. Жигалин А.Д., Локшин Г.П., Просунцова Н.С. Опыт количественной оценки техногенного физического воздействия на геологическую среду // Инж.геология. 1990. № 1. С. 79-86.

22. Жигалин А.Д., Просунцова Н.С. Геологическая среда и коррозионная обстановка // Инж.геология. 1990. № 3. С. 49-55.

23. Зеегофер Ю.О., Лихачева Э.А., Сипягина И.К. и др. Морфометрический анализ территории города // Вопр.географии. 1979. Вып. 3. С. 48-59.

24. Злобина В.Л. Влияние эксплуатации подземных вод на развитие карстово-суффозионных процессов. М.: Наука, 1986. 132 с.

25. Злобина В.Л., Боришанский В.М. Особенности изучения химического состава подземных вод на урбанизированных территориях // Поверхностные и подземные воды. М.: ИВПАИ СССР, 1986. С. 403-407.

26. Инструкция по инженерным изысканиям для городского и поселкового строительства (СН 211-62). М.: Стройиздат, 1962. 120 с.

27. Инструкция по инженерным изысканиям для промышленного строительства (СН 225-79). М.: Стройиздат, 1979. 120 с.

28. Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г.Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов. М.: Мосгорисполком, ГлавАНУ, 1984. 14 с.

29. К а н ц е б о в с к а я И.В., Р у н о в а Т.Г. Вопросы методики измерения и картографирования хозяйственной освоенности территории СССР // Изв. АН СССР. Сер.геогр. 1973. № 5. С. 66-72.

30. К л и м е н к о В.И., Б е з р у к о в В.Ф. Количественная оценка сложности инженерно-геологических условий Черноморского побережья Кавказа: Методические рекомендации. Сочи, 1978. 88 с.

31. К о л о т о в Б.А. Информационные меры как основа создания рациональной методики гидрогеохимических поисков. М.: ВСЕТИНГЕО, 1973. 46 с.

32. К о л о т о в Б.А. Иерархия геологической информации и ее практический аспект: На примере гидрогеохимических исследований // Системный подход в геологии : Тез.докл. М., 1986. Ч. I. С. 186-187.

33. К о л о т о в Б.А., Г а л и ц ы н М.С. Оптимизация гидрогеохимических исследований при проведении гидрогеологической съемки // Сов.геология. 1986. № 2. С. 122-126.

34. К о с ы г и н Ю.А. Основы тектоники. М.: Недра, 1974. 215 с.

35. К о т л о в Ф.В. Изменение природных условий территории Москвы. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 263 с.

36. К о т л о в Ф.В. Изменения природной геологической среды на территории городов и промышленных центров // Рациональное использование земной коры. М.: Недра, 1974. С. 27-42.

37. К о т л о в Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 260 с.

38. К о т л о в Ф.В. Современные проблемы инженерной геологии городов и градопромышленных агломераций // Проблемы инженерной геологии городов. М.: Наука, 1983. С. 5-12.

39. К о т л о в Ф.В., К о ф ф Г.Л. Методологические аспекты оценки состояния геологической среды // Инж.геология. 1987. № I. С. 29-36.

40. К о ф ф Г.Л. Геологические проблемы при изысканиях и проектировании сооружений // Проектирование и инженерные изыскания. 1985. № I. С. 34-38.

41. К о ф ф Г.Л. Геоэкономический аспект инженерно-геологических исследований // Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территории городов и городских агломераций. М.: Наука, 1987. С. 31-35.

42. К у т е п о в В.М., К о ж е в н и к о в а В.Н. Устойчивость закарстованных территорий. М.: Наука, 1989. 151 с.

43. Л е г г е т Р. Города и геология. М.: Мир, 1986. 559 с.

44. Л и ф ш и ц А.Б., Т р у ф ф м а н о в а Е.П. О рациональном использовании территории распространения техногенных газогенерирующих

грунтов // Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территории городов и городских агломераций. М.: Наука, 1987. 105 с.

45. Л и х а ч е в а Э.А. Роль и место инженерно-геоморфологической оценки при инженерно-геологических исследованиях территории города // Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территории городов и городских агломераций. М.: Наука, 1987. С. 91-93.

46. Л и х а ч е в а Э.А., Б г а т о в А.П., К р а с н о в А.Ф. Особенности современных геоморфологических процессов на территории города // Современное экзогенное рельефообразование, его изучение и прогноз. М.: МГО СССР, 1984. С. 32-43.

47. Л и х а ч е в а Э.А., З е е г о ф е р Ю.О., П а н ю к о в а М.П. Геоморфологический анализ территории города Москвы // Рельеф и хозяйственная деятельность. М.: МГО СССР, 1982. С. 112-122.

48. Методика определения экономической эффективности рекультивации нарушенных земель. М.: НИИГиН при Госплане СССР, ГИЗР Минсельхоза СССР, 1986. 92 с.

49. Методические рекомендации по оценке ущерба от подтопления территории городов и определению экономической эффективности применения предупредительных и защитных мероприятий. М.: НИИЭС Госстроя СССР, 1986. 41 с.

50. Методические рекомендации по составлению территориальных комплексных схем охраны природы. М.: Совзгеопромлесхоз, 1981. 188 с.

51. Методические рекомендации по экономической оценке ущерба народному хозяйству, вызываемого отрицательным воздействием предприятия угольной промышленности на геологическую среду. Пермь: ВНИОСуголь Минуглепрома СССР, 1986. 50 с.

52. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Минздрав СССР. Глав. сан.-эпидем. управление, 1987. 16 с.

53. М е ш е ч е к В.В., Р о й т м а н А.Г. Капитальный ремонт, модернизация и реконструкция жилых зданий. М.: Стройиздат, 1987. 237 с.

54. П е ч г е и А. Человеческие качества. М.: Прогресс, 1980. 246 с.

55. П о д б о р с к а я В.О. О причинах деформации памятников архитектуры и зданий исторической застройки территории Государственной библиотеки СССР им.В.И.Ленина // Инж.геология. 1988. № 1. С. 46-52.

56. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 283 с.

57. П р о с е н к о в В.И. Изменения температуры и минерализации подземных вод на территории г.Москвы // Разведка и охрана недр. 1974. № 12. С. 36-41.

58. П р о с е н к о в В.И. Гидротермическая характеристика и процессы формирования подземных вод интенсивно эксплуатируемых водоносных горизонтов Москвы и Подмосковья // Сов.геология. 1979. № 9. С. 149-153.

59. Ревич Б.В., Саев Ю.Е., Смирнова Р.С. и др. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
60. Режимные инженерно-геологические и гидрогеологические наблюдения в городах. М.: Наука, 1983. 160 с.
61. Рекомендации по определению экономической эффективности инженерной защиты городов от подтопления. Харьков: Харьков. филиал ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР, 1983, 144 с.
62. Рекомендации по прогнозу изменения агрессивности грунтовых вод на застроенных территориях. М.: ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР, 1986. 24 с.
63. Рельеф Земли и математика. М.: Мысль, 1987. 120 с.
64. Рубинштейн А.Л. Грунтоведение, основания и фундаменты. М.: Сельхозгиз, 1961. 312 с.
65. Руководство по охране окружающей среды в районной планировке. М.: Стройиздат, 1980. 112 с.
66. Рященко С.В. Эколого-гигиенический прогноз в связи с охраной среды и здоровья населения в зоне влияния БАМ // Географические условия Сибири и охрана здоровья населения. Новосибирск: Наука, 1983. С. 15-31.
67. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. Л.; М.: Стройиздат, 1964. 346 с.
68. Сергеев Е.М. Рациональное использование геологической среды // Природа. 1977. № 1. С. 85-93.
69. Сергеев Е.М., Герасимова А.С., Трофимов В.Т. Объяснительная записка к инженерно-геологической карте Западно-Сибирской плиты. Масштаб 1:1500 000. М.: Изд-во МГУ, 1972. 95 с.
70. Снобкова А.И. Роль природных и антропогенных геологических процессов в развитии вертикальных смещений земной поверхности г.Москвы // Тр. ПНИИМС. 1972. Т.16. Современ.геол.процессы и стр-во: Теория и методика изучения. С. 198-205.
71. Теоретические основы инженерной геологии: Соц.-экон. аспекты. М.: Недра, 1985. 259 с.
72. Теоретические основы инженерной геологии: Физико-химические основы. М.: Недра, 1985. 288 с.
73. Типовая методика определения экономической эффективности и экономического стимулирования осуществления природоохранных мероприятий и экономической оценки ущерба от загрязнения окружающей среды. АН СССР, М.: ЦЭМИ, 1987. 74 с.
74. Тихвинский И.О., Шешеня Н.Л., Васильев В.И. Современные методы оценки геодинамической обстановки применительно к задачам инженерной защиты территорий // Проблемы инженерной геологии городов. М.: Наука, 1983. С. 96-99.
75. Трофимов В.Т., Епишин В.К. Литомониторинг - содержание, структура, роль инженерной геологии в его реализации // Инже-

нерная геология и геологическая среда: МГК.28-я сес. Докл. сов. геологов. М., 1989.

76. Трофимов В.Т., Баулин В.В., Зекцер И.С. и др. Закономерности изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий при интенсивном техногенном воздействии // Проблемы рационального использования геологической среды. М.: Наука, 1988. С. 37-60.

77. Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза. М.: Наука, 1987. 335 с.

78. Федорова Т.К. Физико-химические процессы в подземных водах. М.: Недра, 1985. 182 с.

79. Фролов Н.М., Шкатулкин В.Н. Эволюция геотемпературного поля Москвы с 1945 по 1975г. // Инж. геология. 1983. № 2. С. 102-112.

80. Черняев В.Ф. Системы и управление в инженерной геологии // Инж. геология. 1988. № 5. С. 3-21.

81. Чикишев А.Г. Карст Русской равнины. М.: Наука, 1978. 190 с.

82. Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф. М.: Недра, 1981. 232 с.

83. Melke J., Kraemer S. Diagnostic methods in the control of railway noise and vibration // J. of sound and vibration. 1983. Vol. 87, N 2. P. 377-386.

84. Mori A. Classification et cartographier du paysage sur base ecologique avec application a l'Italie // Geoforum. 1977. Vol. 8, N 5/6. P. 327-340.

85. Tokita Y., Oda A. On the characteristics of ground vibration generated by the traffics // Inter-Noise - 75. Proc. Int. Conf. Noise Constr. Eng. Sendai, 1975. P. 511-514.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Особенности оценки геологической среды городов	4
Свойства геологической среды (Г.Л. Кофф, В.Ф. Котлов)	4
Особенности геологической среды в городе (Г.Л. Кофф, В.Ф. Котлов)	15
Традиционные методы оценки состояния геологической среды (Г.Л. Кофф, В.Ф. Котлов)	23
Типология городов и их влияние на изменение геологической среды (Л.В. Бахирева, Е.Е. Яранцева)	32
Оценка геологической среды в территориальных комплексных схемах охраны окружающей среды (Г.Л. Кофф, М.В. Карагодина)	43
Информационная основа комплексной оценки геологической среды города (Г.Л. Кофф, М.В. Карагодина, Т.В. Минакова)	53
Основные принципы комплексной оценки геологической среды (Г.Л. Кофф, В.Ф. Котлов, Т.В. Минакова, М.В. Карагодина) ...	56
Комплексная оценка геологической среды (на примере г. Москвы)	68
Инженерно-геологическая типизация геологической среды (В.Н. Коломенская)	68
Основные инженерно-геологические процессы на территории города (В.Н. Коломенская, В.Ф. Котлов)	78
Гидрогеологическая характеристика территории (Е.А. Киселева)	84
Оценка геоморфологических условий территории (Э.А. Лихачева)	93
Градостроительные особенности Москвы (К.Н. Ненарокова)	99
Геологическая среда в условиях техногенного физического воздействия (А.Д. Жигалин)	106
Взаимодействие природной и техносциальной подсистем в городе (Г.Л. Кофф, Т.В. Богомолова, М.С. Павлова, Н.В. Экимян)	137
Особенности оценки экономического ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды (Т.В. Минакова) ..	149

Анализ результатов оценки ущерба, вызываемого техногенными изменениями геологической среды (Г.Л. Кофф, Т.В.Минакова)...	156
Обоснование защитных мероприятий (Б.М.Дегтярев, М.В.Куко-тенко, Н.Б.Экимян)	168
Организация литомониторинга (Г.Л. Кофф, Е.А. Киселева)	183
Литература	188

CONTENTS

Introduction	3
Specifics of the geological environmental estimate of cities	4
Characteristics of geological environment (G.L.Koff, V.F.Kotlov)	4
Specifics of geological environment in a city (G.L. Koff, V.F. Kotlov).....	15
Conventional methods for estimating geological environment (G.L.Koff, V.F.Kotlov)	23
Typology of cities and their impact on changes in geological environment (L.V.Bakhireva, E.E.Yarantseva)	32
Estimate of geological environment in territorial complex environmental protection schemes (G.L.Koff, M.V.Karagodina)	43
Informational basis for complex estimate of geological environment in a city (G.L.Koff, M.V.Karagodina, T.B.Minakova)	53
Main principles for complex estimate of geological environment (G.L. Koff, V.F.Kotlov, T.B.Minakova, M.V.Karagodina)	56
Complex estimate of geological environment (by example of Moscow)	68
Engineering geological typification of geological environment (V.N.Kolomenskaya)	68
Major engineering geological processes in urban area (V.N.Kolomenskaya, V.F.Kotlov)	78
Hydrogeological characteristics of an area (E.A.Kiseleva)	84
Estimate of geomorphological conditions of an area (E.A.Likhacheva)	93
Town-building specifics of Moscow (K.N.Nenarokova)	99
Geological environment in the conditions of technogenic physical impact (A.D.Zhigalin)	106

Interaction of the natural and technosocial subsystems in a city (G.L.Koff, T.V.Bogomolova, M.S.Pavlova, N.B.Ekimyan)	137
Specifics in estimating economic damage caused by the technogeneuous changes in geological environment (T.B.Minakova)	149
Analysis of results in estimating damage caused by the technogeneuous changes in geological environment (G.L.Koff, T.B.Minakova)	156
Substantiation of protective measures (B.M.Degtyarev, M.V.Kukotenko, N.B.Ekimyan)	168
Organization of lithomonitoring (G.L.Koff, E.A.Kiseleva) ..	183
References	188

Научное издание

КОФФ Григорий Львович
МИНАКОВА Татьяна Борисовна
КОТЛОВ Вячеслав Федорович и др.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ГОРОДОВ

Утверждено к печати Институтом литосферы АН СССР

Художник С.А. Резников
Художественный редактор И.Ю. Нестерова
Технический редактор Н.В. Вишневецкая

ИБ № 47173

Подписано к печати 19.03.90. Т-05729
Формат 60x90/16. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная
Усл.печ.л. 12,5. Усл.кр.-отт. 12,6. Уч.-изд.л. 14,6
Тираж 1000 экз. Тип.зак. 178. Цена 2р.90к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Наука"
П17864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени I-я типография издательства
"Наука" 199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

В издательстве "Наука" готовится к печати книга:

Геоэкологические основы охраны архитектурно-исторических памятников и рекреационных объектов литосферы. 12 л.

Монография посвящена актуальным и важным с научной и практической точек зрения проблемам охраны культурно-исторических памятников и курортно-рекреационных зон. Рассмотрен широкий круг вопросов влияния геологической среды и ее компонентов и элементов на культурно-рекреационные объекты и зоны. Сопоставлением частных показателей по отдельным системам оценен локальный риск. Выработаны рекомендации по управлению геологической средой, направленные на снижение ущерба и оптимизацию культурно-рекреационного ресурсопользования.

Для специалистов по инженерной геологии и экологов.

Адреса книготорговых предприятий "Академкнига"
с указанием магазинов и отделов "Книга-почтой"

Магазины "Книга-почтой":

252107 Киев, ул. Татарская, 6; 197345 Ленинград, ул. Петрозаводская 7; 117393 Москва, ул. Академика Пилюгина, 14, корп. 2.

Магазины "Академкнига" с указанием отделов "Книга-почтой":

480091 Алма-Ата, ул. Фурманова, 91/97 "Книга-почтой"; 370001 Баку, ул. Коммунистическая, 51 "Книга-почтой"; 232600 Вильнюс, ул. Университето, 4 "Книга-почтой"; 690088 Владивосток, Океанский пр-т, 140 "Книга-почтой"; 320093 Днепропетровск, пр-т Гагарина, 24 "Книга-почтой"; 734001 Душанбе, пр-т Ленина, 95 "Книга-почтой"; 375002 Ереван, ул. Туманяна, 31; 664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 289 "Книга-почтой"; 420043 Казань, ул. Достоевского, 53 "Книга-почтой"; 252030 Киев, ул. Ленина, 42; 252142 Киев, пр-т Вернадского, 79; 252025 Киев, ул. Осипенко, 17; 277012 Кишинев, пр-т Ленина, 148 "Книга-почтой"; 343900 Краматорск Донецкой обл., ул. Марата, 1 "Книга-почтой"; 660049 Красноярск, пр-т Мира, 84; 443002 Куйбышев, пр-т Ленина, 2 "Книга-почтой"; 191104 Ленинград, Литейный пр-т, 57; 199164 Ленинград, Таможенный пер., 2; 194064 Ленинград, Тихорецкий пр-т, 4; 220012 Минск; Ленинский пр-т, 72 "Книга-почтой"; 103009 Москва, ул. Горького, 19-а; 117312 Москва, ул. Вавилова, 55/7; 630090 Новосибирск, Морской пр-т, 22 "Книга-почтой"; 630076 Новосибирск, Красный пр-т., 51; 142284 Протвино Московской обл., ул. Победы, 8; 142292 Пушкино Московской обл., ул. МР "В", 1 "Книга-почтой"; 620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137 "Книга-почтой"; 700000 Ташкент, ул. Ю. Фучика, 1; 700029 Ташкент, ул. Ленина, 73; 700070 Ташкент, ул. Ш. Руставели, 43; 700185 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6 "Книга-почтой"; 634050 Томск, наб. реки Ушайки, 18; 450059 Уфа, ул. Р. Зорге, 10 "Книга-почтой"; 450025 Уфа, ул. Коммунистическая, 49; 720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42 "Книга-почтой"; 310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87 "Книга-почтой"

2 р. 90 к.

5235