

Проблемы рационального использования геологической среды



•Наука•

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ
И ГИДРОГЕОЛОГИИ

502-76/106

Проблемы рационального использования геологической среды

Сборник научных трудов

Ответственные редакторы
академик Е.М. Сергеев
и доктор геолого-минералогических наук
В.Т. Трофимов



МОСКВА "НАУКА" 1988



Рассмотрены инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические проблемы рационального использования геологической среды районов интенсивного техногенного воздействия. Описаны итоги и задачи изучения изменений геологической среды при различных видах техногенных воздействий.

Для геологов, гидрогеологов, инженеров-геологов, геокриологов, геоморфологов.

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук В.В. Кюнитцель;
доктор геолого-минералогических наук К.Е. Питъева.

П 3202000000-176
042(02)-88 326-88-II

© Издательство "Наука", 1988

ISBN 5-02-005977-3

Предисловие

Взаимодействие человека с природой — процесс постоянный, исторически длительный, противоречивый. На современном этапе развития общества человек, овладевая природными ресурсами, резко изменил и улучшил жизненные условия, освоил такие районы Земли, которые ранее в сферу инженерно-хозяйственной деятельности совершенно не вовлекались. Однако интенсивное вмешательство человека в природную обстановку привело к возникновению не только положительных сдвигов, но и отрицательных последствий. За последние десятилетия произошло огромное по объему увеличение воздействия человека на природу, были созданы новые материалы и образованы отходы производства, ранее не существовавшие в природе и часто чуждые ей по своим особенностям. В этих условиях проблема создания здоровой окружающей человека среды стала жизненно важной, глобальной проблемой.

Важнейшим элементом окружающей среды в целом и ее природной составляющей является литосфера. Та часть литосферы, которая непосредственно выступает как минеральная основа биосфера, в настоящее время выделяется под названием "геологическая среда". Последняя представляет собой многокомпонентную динамическую систему, находящуюся под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности человека и в свою очередь влияющую на эту деятельность.

Геологическая среда до недавнего времени рассматривалась как консервативный элемент окружающей среды. Однако на современном этапе развития общества проблема рационального использования геологической среды стала очень остро. Это обусловлено тем, что антропогенное воздействие на нее в целом ряде интенсивно освоенных районов земного шара превосходит совокупное воздействие природных геологических процессов. Человек, как и предвидел В.И. Вернадский, стал крупнейшей геологической силой. Он оказывает на геологическую среду столь же большое влияние, как на атмосферу, поверхностные воды и растительный мир.

Проблема рационального использования и охраны геологической среды исследуется представителями целого ряда геологических наук. Многие аспекты этой проблемы имеют четко выраженную гидрографическую, инженерно-геологическую и геокриологическую направленность. Именно они применительно к районам интенсивной техно-

генной нагрузки будут обсуждаться на I Всесоюзном съезде инженеров-геологов, гидрогеологов и геокриологов в г. Киеве (1988 г.). Многие вопросы этой проблемы рассматриваются и в настоящем сборнике.

По своему содержанию статьи сборника условно подразделяются на три части. В первой из них обсуждаются достижения и перспективы дальнейшего развития инженерной геологии и гидрогеологии. Вторая часть сборника посвящена рассмотрению закономерностей изменения геологической среды в районах интенсивного техногенного воздействия, методов, методик и технических средств их изучения, проблемы прогнозирования этих изменений и общим вопросам рационального использования, управления и охраны геологической среды. Третью часть сборника составляют статьи, посвященные рассмотрению итогов и задач изучения изменений геологической среды при различных видах инженерно-хозяйственной деятельности человека. Заключает сборник статья, в которой обсуждаются проблемы гидрогеологии и инженерной геологии Украинской ССР — крупного региона, в пределах которого техногенные воздействия на геологическую среду чрезвычайно интенсивны.

Вопросы, рассмотренные в настоящем сборнике, делают его интересным и полезным для широкого круга специалистов, изучающих проблемы рационального использования и охраны геологической среды и окружающей среды в целом.

В.Т. Трофимов

E.M. Сергеев

Проблемы инженерной геологии в связи с задачами рационального использования и охраны геологической среды

Предыстория и история инженерной геологии. Инженерная геология как наука сформировалась в 20—30-е годы нашего столетия. В Советском Союзе это было связано с началом реализации ленинского плана электрификации страны.

Показателем возникновения новой науки в известной степени является создание кафедр в высших учебных заведениях по ее профилю. Раз создается новая кафедра в вузе, которая не является эфемерной, а существует в течение многих лет, то это означает, что, во-первых, нужны специалисты такого профиля и, во-вторых, что ясен путь их подготовки. В 1929 г. была открыта кафедра инженерной геологии в Ленинградском горном институте. В 1930 г. в Ленинградском университете была открыта кафедра грунтоведения, а в Московском университете впервые был произведен прием на специальность "грунтоведение" (кафедра была создана позднее — в начале 1938 г.). В 1931 г. организована кафедра инженерной геологии в Московском геолого-разведочном институте. Можно считать, что с начала 30-х годов начинается история инженерной геологии в нашей стране, которая насчитывает теперь более полувека.

Как у всякой науки, у инженерной геологии тоже была своя предыстория. Если бы этого не было, мы не могли бы сейчас любоваться египетскими пирамидами, буддийскими храмами, римскими мостами в Европе, соборами Киева и Москвы и, наконец, красавцем Ленинградом. Дело не только в том, как они построены, но еще и в том, на чем они построены, какие горные породы служат для них основаниями, какие геологические процессы оказывали и продолжают оказывать на них свое воздействие.

Предысторию инженерной геологии можно подразделить на три этапа. Первый этап длился тысячелетия, сведения геологического характера передавались мастерами-строителями от поколения к поколению. Второй этап связан с появлением специальных книг по инженерно-геологическим вопросам. Это характерно для начала XIX в. Примером может служить магистерская диссертация Дмитрия Лачинова под названием "Рассуждение об устройении и укреплении плотин", изданная в 1816 г. с одобрения Совета Московского университета. Особенно много книг, близких по содержанию к инженерной геологии, в России было издано накануне и после отмены крепостного

права. Интересно, что их авторами были не геологи, а строители. Началом третьего этапа следует считать время, когда к строительству железных дорог, каналов и других сложных инженерных сооружений были привлечены геологи. Их участие в строительных изысканиях привело к появлению таких терминов, как "инженерная геология", "инженер-геолог". В последнем случае как бы подчеркивалось, что геолог ведет изыскания не в связи с полезными ископаемыми, а для нужд строительства. Ярким представителем таких геологов в России был Д.Л. Иванов (1846—1924 гг.), впервые употребивший этот термин. В изысканиях под железные дороги принимали участие известные ученые-геологи — И.В. Мушкетов, В.А. Обручев, А.П. Павлов и др.

Впервые книга под названием "Инженерная геология" (авторы Х. Рис и Т. Ватсон) была опубликована в 1911 г. в Нью-Йорке. В том же году в Лондоне вышла книга Р. Сорсли "Геология для строителей". Третий этап предыстории инженерной геологии надо рассматривать как начало ее оформления в самостоятельную науку. Таким образом, инженерная геология возникла не на пустом месте, не вдруг, она имеет "прочный фундамент".

Развитие инженерной геологии в каждой стране происходило и происходит по-своему. На рис. 1 схематично показано развитие инженерной геологии в нашей стране. Хорошо видно, что с 1930 г. начинается динамичное развитие инженерной геологии в СССР. Создание кафедр инженерной геологии в ведущих технических вузах и кафедр грунтоведения в крупнейших университетах привело к тому, что на протяжении примерно 20 лет эти две инженерно-геологические дисциплины развивались параллельно, часто без должной взаимосвязи. Грунтоведение изучало различные породы в связи со строительством, инженерная геология — главным образом экзогенные геологические процессы и методику исследования территории, тоже в связи с различными видами строительства.

Инженерную геологию в Советском Союзе возглавил Ф.П. Саваренский, избранный академиком АН СССР по отделению технических наук. Признанным лидером грунтоведения являлся заслуженный деятель науки РСФСР М.М. Филатов. Обе эти инженерно-геологические дисциплины еще в довоенные годы достигли значительных успехов. Очень остро стоял вопрос, по какому пути будет происходить это развитие. Превратится ли инженерная геология в "геотехнику", которая быстро развивалась в западных странах и, по существу, поглощала в себя инженерную геологию, превращая ее в "геологическую инженерию", или останется в рядах естественно-исторических, в частности геологических, дисциплин и термин "инженерная" будет иметь лишь прикладное значение?

Решение этого вопроса на первом этапе развития инженерной геологии было тем более важно, что в университетах были созданы кафедры грунтоведения и возник вопрос о правомерности их существования в университетах.

Большое значение для развития грунтоведения и в целом инженерной геологии в Советском Союзе имела работа М.М. Фила-

Годы	Исторические этапы предыстории и истории инженерной геологии	Характеристика этапов
	История	Инженерная геология — наука, изучающая не только геологическую, но и окружающую среду в целом
2000		
1980	III этап	Инженерная геология — наука, комплексно изучающая геологическую среду
1964		Организация Международной ассоциации инженерной геологии (МАИГ)
1950	II этап	Возникновение региональной инженерной геологии. Оформление инженерной геологии как науки, содержащей три теоретических раздела и ряд практических направлений
1930	I этап	Оформление как научных направлений и параллельное развитие грунтоведения и инженерной геологии
1870	Предыстория III этап	В инженерных изысканиях принимают участие геологи, публикуются инженерно-геологические работы
1800	II этап	Сведения инженерно-геологического характера содержатся в книгах и статьях, подготовленных строителями
	I этап	Сведения геологического характера передаются изустно от поколения к поколению

Рис. 1. Предыстория и история инженерной геологии в Советском Союзе

това "Грунтоведение к двадцатой годовщине Великой Октябрьской социалистической революции", опубликованная в 1938 г. В ней автор писал: "Старая точка зрения на грунт, как на механическую систему гранулометрических элементов связанных или не связанных силами сцепления, — являющуюся постоянной при всех физико-

географических условиях, и обладающих, следовательно, механическими константами, не зависящими от физико-химических процессов, происходящих и возникающих в грунтах, в настоящее время отброшена в советском грунтоведении как несостоятельная. Физико-механические константы грунтов, согласно новому направлению, функционально связаны с генезисом грунтов. Последние представляют собой динамические образования, т.е. изменяющиеся во времени образования, свойства которых поддаются искусственному изменению. Данное положение лежит в основе советского грунтоведения и возводит его в научную дисциплину о грунтах, как естественно-исторических образованиях, находящихся в условиях инженерно-технических сооружений" [13].

Эту точку зрения М.М. Филатова поддерживали ближайшие сотрудники Ф.П. Саваренского — И.В. Попов, В.А. Приклонский и другие, выступившие против подмены понятия "инженерная геология" термином и понятием "геотехника".

На этой принципиальной основе стало возможным не только дальнейшее сближение, но и последующее объединение грунтоведения и инженерной геологии. Из рис. 1 следует, что это произошло позднее, в 50-е годы, когда в нашей стране возникла региональная инженерная геология.

Возникновение региональной инженерной геологии завершило формирование трех основных теоретических разделов инженерной геологии, изучающих горные породы (грунтоведение), геологические процессы (инженерная геодинамика), территории (региональная инженерная геология). Возник стройный ряд объектов инженерно-геологического изучения. С этого времени начинается второй этап развития инженерной геологии.

На базе ее теоретических разделов сформировались также прикладные направления инженерной геологии, которые решают конкретные практические задачи и сами питают их своими конкретными материалами.

Современное состояние инженерной геологии в СССР. Теоретические разделы и прикладные направления, сложившиеся в инженерной геологии к настоящему времени, показаны на рис. 2. Глядя на этот рисунок, можно понять, какая огромная работа была проделана учеными и специалистами всех стран в области инженерной геологии. Поэтому неудивительно, что именно на втором этапе развития инженерной геологии, в 1964 г. на XXII Международном геологическом конгрессе, проходившем в Нью-Дели (Индии), была создана Международная ассоциация инженерной геологии (МАИГ), в работе которой принимает активное участие Национальная советская ассоциация инженерной геологии. В настоящее время МАИГ объединяет 50 национальных ассоциаций, общее количество членов составляет 4800 человек из 78 стран. За 25 лет своей деятельности МАИГ во многом способствовала развитию инженерной геологии во всем мире путем систематического проведения международных конгрессов и симпозиумов, издания международного бюллетеня "Инженерная геология". И все же главным фактором бурного



Рис. 2. Современная структура инженерной геологии

развития инженерной геологии на втором историческом ее этапе является научно-технический прогресс (НТП) и социально-экономические условия, сложившиеся в разных странах.

Региональная инженерная геология, например, неслучайно возникла в Советском Союзе. Этот раздел инженерной геологии отвечает требованиям социалистического общества, так как речь идет об изучении инженерно-геологических условий крупных территорий (регионов) в связи с перспективным планированием их развития и народнохозяйственным освоением. Для Советского Союза, занимающего 1/6 часть суши Земли, развитие региональной инженерной геологии имеет особое значение.

ЦК КПСС и Советское правительство высоко оценили работы по региональной инженерной геологии. В 1977 г. группе ученых и специалистов была присуждена Государственная премия за инженерно-геологические исследования на территории Западной Сибири, которые охватили площадь в 3,5 млн км². В 1982 г. была присуждена Ленинская премия за восьмитомную монографию "Инженерная геология СССР" (Е.М. Сергеев, И.С. Комаров, И.В. Попов, М.В. Чуринов).

Приведенный пример не означает исключительности региональной инженерной геологии среди других разделов и направлений, показанных на рис. 2. Он только говорит о том, что при определенных социально-экономических условиях возникают народнохозяйственные

проблемы, для решения которых необходимо ускоренное развитие отдельных разделов и направлений инженерной геологии.

В 1963 г. К.П. Мельниковой и автором настоящей работы была опубликована статья в журнале "Вестник Московского университета" под названием "Идеи В.И. Вернадского о ноосфере и дальнейшее развитие инженерной геологии" [4]. В ней авторы впервые поставили вопрос о том, что инженерная геология должна изучать поверхность литосферы, где протекает интенсивная деятельность человека, как одну из составных частей окружающей среды, как геологическую среду.

Понадобилось 17 лет, чтобы эта мысль превратилась в официальную декларацию, которую советская делегация вынесла на рассмотрение Генеральной ассамблеи МАИГ, проходившей на XXVI Международном геологическом конгрессе в Париже. В декларации, принятой единогласно, говорится, что инженерно-геологическая наука принимает на себя ответственность за разработку вопросов, связанных с геологической средой, и Генеральная ассамблея обращается с призывом ко всем ученым и специалистам инженерам-геологам строить всю свою дальнейшую работу исходя из этого.

У нас есть все основания считать, что 1980 г. явился началом нового, третьего этапа в истории развития инженерной геологии, который характеризуется тем, что одной из основных задач инженерной геологии стало рациональное использование и охрана геологической среды как одной из компонент окружающей среды. Это и отражено на рис. 1.

Задача рационального использования и охраны окружающей среды вытекает из современного уровня развития научно-технического прогресса.

Во времена Ч. Лайеля, 150 лет назад, силы человечества казались ничтожными по сравнению с силами природы. Не было никакой необходимости в изучении взаимодействия человека с природой. Все начало изменяться с развитием капитализма.

К. Маркс в первом томе "Капитала" указывал, что по мере развития производительных сил роль человека в природе повышается, а массовое производство, кооперация в крупных масштабах с применением машин в конце концов подчиняет непосредственному процессу производства силы природы. Так это и происходит. При этом не следует забывать, что развитие производительных сил сочетается с ростом населения Земли. В 1850 г. оно достигло первого миллиарда, а в июле 1986 г. население Земли составляло уже 5 млрд человек. Причем в руках людей не каменные орудия, а атомная энергия, электроника, все достижения НТП.

Уже сейчас около 8% суши Земли покрыто различными инженерными сооружениями (здания, дороги, карьеры и шахты, водохранилища и др.). По прогнозу, занимаемая инженерными сооружениями площадь может возрасти к 2000 г. до 15% от площади всей суши. Этот прогноз можно считать реальным, если вспомнить, что территория Московской области застроена на 16%. К застроенной территории надо добавить еще сельскохозяйственные территории, где

человек тоже активно изменяет природные условия и, в частности, литосферу. Можно ли в этих условиях говорить о "девственной природе"?

Этот вопрос впервые был поставлен В.И. Вернадским еще в 1944 г., и на него он дал отрицательный ответ. Тогда в статье "Несколько слов о "ноосфере" он сформулировал очень важные и принципиальные положения. В.И. Вернадский писал: "Человек становится крупнейшей геологической силой, он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше. Перед нами открываются все более и более широкие творческие возможности. Меняется лик Земли, исчезает девственная природа" [3].

Именно это имел в виду К. Маркс, говоря об изменении роли человека в природе по мере роста производительных сил.

Термин "окружающая среда" появился сравнительно недавно и является порождением НТП. Под окружающей средой следует понимать ту часть природной среды, где человек оказывает на нее существенное влияние, соизмеримое с природными процессами. Окружающая среда в отличие от природной среды есть явление социально-естественное. Природная среда объединяет такие понятия, как литосфера, гидросфера, атмосфера и биосфера. Эти же компоненты присущи и окружающей среде, но поскольку они становятся не только естественными понятиями, а социально-естественными, уместно подчеркнуть, это в их названии. Например, "геологическая среда", "водная среда", "воздушная среда", "растительная среда" и "животный мир". Насколько удачно это предложение, должны судить соответствующие специалисты. Но думаю, что назвать верхнюю часть литосферы "геологической средой", когда она рассматривается как одна из компонент окружающей среды, целесообразно. И это является компетенцией геологов. Во всяком случае, термин "геологическая среда" нашел самое широкое применение.

Под геологической средой следует понимать любые горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть разреза литосферы, которые рассматриваются как многокомпонентные динамичные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, что приводит к изменению природных геологических процессов и возникновению новых техногенных геологических процессов, изменяющих инженерно-геологические условия определенной территории [7].

В этом довольно сложном определении выделены три главных элемента геологической среды, изучаемых инженерной геологией и выделенных выше: горные породы и почвы, природные и техногенные геологические процессы и территории, или, точнее, объем геологической среды. Всестороннее изучение выделенных элементов геологической среды на базе фундаментальных геологических, физико-химических, механико-математических и социально-экономических наук, несомненно, приведет к дальнейшему развитию инженерной геологии.

Теоретические основы инженерной геологии были достаточно полно

освещены в четырехтомной монографии, вышедшей в свет в 1985—1986 гг. [9—12]. Поэтому в дальнейшем мы остановимся лишь на отдельных проблемах основных разделов инженерной геологии, на ее некоторых прикладных направлениях.

Некоторые проблемы грунтоведения. Грунтоведение является важнейшим разделом инженерной геологии. Вне грунтов невозможно изучать процессы, нельзя охарактеризовать в инженерно-геологическом отношении интересующие нас территории.

Из теоретических проблем грунтоведения на первое место надо поставить разработку методологии изучения грунтов. Она представляется в виде системы

первичный элемент породы — порода в целом — массив (толща) пород.

Эта система требует особого подхода к каждому из трех составляющих указанного ряда изучения грунтов. При изучении первичных элементов породы, например отдельных минералов, помимо их физических и физико-химических свойств, большое значение приобретает взаимосвязь между их составом и размером структурных элементов. Эта взаимосвязь впервые была показана для песков В.Р. Вильямсом (1893 г.), для глин А.А. Роде (1938 г.) и И.Д. Седлецким (1938 г.), для лёссов В.П. Ананьевым (1956 г.). Для скальных грунтов она вытекает также из многочисленных работ петрографов, изучавших минеральный состав и структуру различных магматических и метаморфических пород.

Значительно в меньшей степени эти вопросы разработаны для первичных элементов жидкой, газообразной и биогенной компонент. Хотя в достаточно большой степени изучены их физические свойства (например, свойства прочно- и рыхлосвязанной воды, адсорбированных и замещенных газов и др.), мало известно о взаимосвязи состава и структуры этих элементов грунтов. Стоит задача проникнуть в микромир грунтов, для того чтобы отчетливо понимать взаимодействие между их составляющими.

К сожалению, приходится констатировать, что в Советском Союзе инженерно-геологические лаборатории плохо оснащены современными приборами. В этих условиях особенно важно организовать комплексное изучение указанных проблем совместно с физиками.

Изучение грунтов на уровне "порода" осуществляется в лабораторных и полевых условиях. В последнее время центр тяжести все больше и больше переносится на полевые исследования, которые, с одной стороны, позволяют получить достаточно точные данные прямо на строительной площадке или в процессе инженерно-геологического картирования без потери времени на перевозку образцов, а с другой — дают представление об особенностях строения и свойствах самих массивов. Нам кажется, что, чем больше мы будем знать о грунтах на первой стадии их исследования, тем лучше будут осуществляться дальнейшие стадии их изучения. Поэтому представляется целесообразным при проведении инженерно-геологического картирования шире применять ядерные методы исследования плотности и влажности грунтов (В.И. Осипов, 1968) и вернуться к определению минерального и гранулометрического состава грунтов

с помощью простейших методов исследования (М.М. Филатов, 1931 и др.).

Перестройка изучения грунтов, повышение точности определения состава, структуры и текстуры отдельных образцов и слагаемых ими массивов, рассмотрение взаимодействия компонент, составляющих грунты, как основного фактора, определяющего их свойства, — все это обеспечит повышение эффективности изучения свойств грунтов и тем самым обеспечит качество прогноза поведения инженерных сооружений.

Большое значение имеет разработка общей классификации грунтов, которая связывает их свойства с генезисом и постгенетическими процессами. В 1982 г. впервые в нашей стране классификация грунтов была утверждена в виде ГОСТа (ГОСТ 25100—82). Это большой шаг вперед. Но и эта классификация еще далека от совершенства. В ней не полностью воплощены принципы, сформулированные М.М. Филатовым в 1937 г. Предстоит дальнейшая работа над классификацией грунтов. При этом, безусловно, должны быть учтены следующие положения.

Первое. Сохранен принцип подразделения грунтов на классы. Сейчас их для немерзлых грунтов два: скальные грунты — преобладают структурные связи химической природы и рыхлые, или дисперсные грунты — преобладают другие типы структурных связей (физические, физико-химические, механические). Предложения о выделении третьего класса "полускальные грунты" отвергались, в том числе и автором настоящей статьи. Но опыт использования грунтов в народном хозяйстве показывает, что часто приходится встречаться с такими горными породами, как сильно литифицированные глины, аргиллиты, слабые песчаники и конгломераты со слабым глинистым цементом, мел, диатомиты, сильно выветрелые магматические и метаморфические породы, сохраняющие монолитность, но легко разрушающиеся под влиянием незначительных нагрузок. Это сложные природные образования разного генезиса, которые трудно называть однозначно скальными или дисперсными. Они, по-видимому, характеризуются определенными соотношениями различных типов и видов структурных связей. Следует, очевидно, вернуться к обсуждению целесообразности выделения класса полускальных грунтов. Это первый вопрос, который возникает при дальнейшем совершенствовании классификации грунтов.

Второе. Классификационные типы грунтов должны иметь характерные только для них свойства, имеющие большую практическую значимость. Например, крупнообломочные грунты — большая величина коэффициента фильтрации при турбулентном движении воды и отсутствие капиллярного поднятия воды; песчаные — значительная водопроницаемость при ламинарном движении воды и значительная величина ее капиллярного поднятия; пылеватые (лессовые) породы — просадочность; глинистые — пластичность и т.д. Сразу же, как только мы переходим к такому обобщению, возникают различные вопросы, такие, как правомерность объединения просадочных и непросадочных пылеватых пород под одним общим названием "лесс-



Рис. 3. Схематическое подразделение техногенных грунтов

совые породы" или отнесение супесей к глинистым грунтам и др.

Третье и самое главное. Мы классифицируем грунты, образования многокомпонентные, лишь по одной их компоненте — по твердой компоненте. При этом наличие в них других компонент (жидкой, газовой и биогенной) не учитывается. Правильно ли это? Нельзя ли строить классификацию грунтов на показателях, одновременно отражающих генезис и постгенетические процессы, приведшие к современному состоянию грунта как многокомпонентной системы?

По мере развития НТП **удельный вес искусственных грунтов повышается**. Количество искусственных грунтов значительно возросло по сравнению с первым этапом развития инженерной геологии. Их многообразие показано на рис. 3. Из этого рисунка можно сделать несколько выводов.

Во-первых, искусственные грунты можно подразделить на техногенно-мелиорированные, т.е. улучшенные с помощью воздействия различных физических полей или путем добавок веществ, улучшающих их свойства, и на собственно-техногенные, объединяющие отвалы пород, золы, шлаки и другие отходы промышленности. Часть собственно-техногенных грунтов может быть использована для получения техногенно-мелиорированных грунтов.

К искусственным грунтам относятся не только грунты, сознательно улучшенные человеком, но и "ухудшенные", которые в условиях естественного воздействия человека потеряли присущие им

свойства. Имеются в виду грунты, переувлажненные в результате подтопления территории и потерявшие прочность при техногенном воздействии. В качестве примера можно назвать превращение аргиллитов в глины в котловане при длительном перерыве в строительстве.

Создание искусственных грунтов представляет целое направление в грунтоведении, зародившееся еще в предыстории инженерной геологии и получившее название технической мелиорации грунтов. Техническая мелиорация грунтов приобретает все большее значение. Недалеко то время, когда при строительстве ответственных сооружений на "неудобных землях" (а они составляют примерно 1/2 поверхности суши) сначала будут проводить техническую мелиорацию грунтов, а потом уже осуществлять строительство.

По данным ПНИИС Госстроя СССР, в нашей стране каждый четвертый фундамент строящихся зданий и сооружений возводится на просадочных грунтах. В районах распространения лёссовых отложений ежегодно бурится и опробывается до 200 тыс. скважин. Главной задачей при этом является установить наличие и величину просадочности лёссов.

Лёссы относятся к пылеватым породам и по характеру дисперсности занимают промежуточное положение между песчаными и глинистыми породами. Обе группы этих пород полигенетичны. Различие в генезисе имеют и лёссовые породы. И в каждом генетическом типе встречаются просадочные и непросадочные разности. Следовательно, просадочность лёссов возникла при постгенетических процессах. Она является результатом гипергенных изменений, проходивших в четвертичное время главным образом в перигляциальных зонах. В этих условиях под влиянием особенностей процесса гипергенезиса просадочные лёссы приобрели удивительное однобразие в составе и структуре, что легко устанавливается с помощью сканирующего электронного микроскопа, оснащенного ЭВМ. Просадочность лёссов не только характеризует их поведение при строительстве, но и является одновременно с этим показателем их других инженерно-геологических особенностей. С нашей точки зрения, только просадочные породы могут называться лёссыми, а непросадочные породы — лёссовидными суглинками, лёссовидными глинями и, может быть, лёссовидными супесями.

Положение лёссов в толще четвертичных отложений должно быть определенным для отдельных регионов страны. Исходя из этого, Госстроем СССР в 1986—1988 гг. под методическим руководством ПНИИСа и кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды МГУ силами двадцати производственных организаций проводятся работы по составлению "Атласа опорных инженерно-геологических разрезов просадочных толщ для различных регионов СССР".

Эта работа имеет большое практическое значение, так как должна повысить достоверность наших знаний о лёссеах и привести к значительному сокращению объема бурения в районах распространения лёссов.

Основная задача инженерной геодинамики. Инженерная геодинамика изучает все геологические процессы, природные и техногенные, возникающие в результате деятельности людей.

На поверхности Земли, где живет и трудится человек, взаимодействуют между собой основные компоненты природной среды (литосфера, гидросфера, атмосфера и биосфера), поэтому здесь наиболее активно протекают природные и, в частности, геологические процессы.

Вот как оценил их А.В. Сидоренко в 1967 г. в своей книге "Человек, техника, Земля": "Ныне внимание человечества обращено на освоение космоса. Одновременно геологи планируют проникновение в глубокие недра Земли для достижения так называемой верхней мантии. Бессспорно, что познание этого уровня земной коры будет иметь огромное значение для понимания многих геологических процессов, происходящих в земной коре, и, в первую очередь, причин тектонических движений неведущих процессов развития Земли. Однако нельзя забывать и огромного значения тех геологических процессов, которые протекают непосредственно на поверхности и в приповерхностной части Земли. Проблема изучения этих процессов, особенно учитывая вмешательство в них человека, имеет не меньшее значение, чем проблема освоения космоса, околоземного пространства или глубоких недр Земли" [8].

Примеров в этом отношении можно привести много. Приведу лишь один. В 1984 г. Президиум АН УССР обсуждал проблему об организации работ по инженерно-геологической оценке территории УССР с целью решения вопросов размещения промышленных и гражданских объектов республики. При этом выяснилось, что только в пределах одной Одесской области экзогенным геологическим процессам (оползневым, карстовым, просадочным и подтоплению) была подвержена большая территория. Ориентировочная стоимость мероприятий по ликвидации указанных негативных последствий в этой области оценивалась миллионами рублей. Как тут не вспомнить А.В. Сидоренко.

Между тем успешная борьба с экзогенными процессами не только необходима, но и вполне возможна.

Столица Казахстана Алма-Ата построена в селеопасном районе, на ее территорию были возможны выходы селей по долинам рек Малая Алматинка и Большая Алматинка. Наибольшую угрозу в этом отношении представляла долина р. Малая Алматинка. В ее верховьях были построены противоселевые сооружения, но они были оценены, как малонадежные. Поэтому по предложению М.А. Лаврентьева и М.А. Садовского в 1971 г. методом направленных взрывов выше известного катка Медео в долине р. Малая Алматинка была построена высотная камнебросная плотина высотой по центру 112 м при ширине 500 м. Это было сделано весьма своевременно. 15 июля 1973 г. в долине р. Малая Алматинка образовался мощный сель гляциального характера. Образовавшиеся водные потоки устремились в долину Малой Алматинки, захватывая с собой не только мелкозем, но и крупные каменные глыбы. Сила селя

была настолько велика, что наибольшие из глыб достигали размера 45 м³ и массы около 120 т. Селезащитные сооружения, построенные после селя 1923 г., были снесены мгновенно. Двигаясь, селевой поток проложил себе русло независимо от русла реки. Большая опасность нависла над Алма-Атой. Но своевременный прогноз возникновения такого селя и постройка высотной плотины спасли город. Это хороший пример охраны геологической среды.

Для борьбы с селями была создана специальная организация — Казглавсельзащита, полностью себя оправдавшая. По ее данным, в Казахстане насчитывается около 300 селевых бассейнов, сотни крупных очагов селеобразования, в которых отмечалось более 600 случаев возникновения мощных грязекаменных потоков. Казглавсельзащитой разработаны генеральные схемы селезащиты населенных мест в Казахской ССР. К 1986 г. было освоено 100 млн руб., что дало возможность построить селезащитные сооружения, способные задержать более 30 млн м³ селевых отложений. Строительство этих сооружений сопровождалось строительством 30 км дорог и более 70 км линий связи. Всего намечается израсходовать на селезащитные мероприятия 400 млн руб. Эта, казалось бы, огромная сумма несравненно меньше тех убытков, которые мог бы принести один только сель в 1973 г., обрушившись на Алма-Ату, не говоря о возможных значительных человеческих жертвах. Таким образом, на примере Алма-Аты мы видим, что перед инженерной геодинамикой стоит задача прогноза в первую очередь катастрофических геологических процессов в пространстве, времени и по их интенсивности.

5082

Задачи региональной и инженерной геологии. Основатели Алма-Аты не располагали теми знаниями и возможностями, которыми мы обладаем сейчас. Поэтому неудивительно, что они построили город в селеопасном районе. Вот допустить такую ошибку в наше время было бы непростительно. Ведь региональная инженерная геология позволяет рационально использовать геологическую среду. Чем комплекснее она будет охарактеризована, тем рациональнее могут быть принятые решения. С нашей точки зрения, известным эталоном в этом отношении является комплекс карт, составленный на Нечерноземье РСФСР.

По инициативе Л.И. Ровнина, бывшего министра геологии РСФСР, геологами, географами и почвоведами Московского университета было составлено 15 карт на территорию Нечерноземья площадью в 2,6 млн км², различных по своему содержанию: неотектоническая, инженерно-геологическая, грунтовых толщ, изменения геологической среды при градостроительстве, при мелиорации, при добыче полезных ископаемых, подземного стока, гидрогеохимическая, почвенного районирования, почвенно-мелиоративная, сельскохозяйственных угодий и др. Эти карты рассчитаны на широкий круг специалистов: геологов, почвоведов, мелиораторов, строителей и проектировщиков. Карты, безусловно, необходимы партийным, советским, проектным, научным организациям самого разного уровня. Каждая карта снабжена объяснительной запиской, а специальная

монография "Почвенно-геологические условия Нечерноземья" [6] обобщает основные положения, вытекающие из этих карт. В течение одиннадцатой пятилетки карты были подготовлены и изданы. Все заинтересованные организации смогли их получить. Представляется целесообразным провести семинары по обмену опытом использования этих карт.

Здесь уместно вспомнить, что в новой редакции Программы КПСС говорится: "Поворот науки к нуждам народного хозяйства необходимо осуществлять энергичнее. Но столь же важен поворот производства лицом к науке, его максимальная восприимчивость к научно-техническим достижениям..." [2]. Именно при этих условиях может быть наибольшая отдача во всех случаях и особенно, когда речь идет о региональных инженерно-геологических исследованиях.

В двенадцатой пятилетке необходимо осуществить переработку восьмитомной монографии "Инженерная геология СССР", имея в виду выход в свет второго ее издания в 1990—1991 гг., издание серии инженерно-геологических карт территории Европейской части СССР, дальнейшую разработку принципов инженерно-геологической типизации территорий.

Разработка инженерно-геологической типизации территории имеет большое будущее, так как позволит, учитывая региональные и зональные инженерно-геологические факторы, использовать опыт разных стран (а в такой большой стране, как СССР, — отдельных районов) в организации инженерно-геологических изысканий, строительства различных инженерных сооружений, природоохранных мероприятий.

Некоторые проблемы, связанные с прикладными направлениями инженерной геологии. Выделенные на рис. 2 прикладные направления инженерной геологии имеют определяющее значение для дальнейшего развития инженерной геологии.

Прежде всего надо обратить внимание на то, что сейчас есть все основания подразделить прикладные направления на субазральные и субаквальные. Последние возникли вначале в связи с освоением морского шельфа при строительстве морских сооружений и добыче нефти и газа, а затем при разработке железисто-марганцевых конкреций на континентальном склоне и дне океана. При этом возникают различные проблемы. Но одна из них наиболее важная. Это изучение динамических свойств донных осадков в зависимости от их литологического состава и микроструктуры.

Среди субазральных прикладных направлений особого внимания заслуживает "Инженерная геология энергетических сооружений". Строительство и эксплуатация гидро- и атомных электростанций ставят перед инженерной геологией ряд специфических проблем, вытекающих из повышенных требований к устойчивости сооружений. Поэтому при выборе строительных площадок энергетических сооружений, особенно атомных электростанций, необходимо проводить целый комплекс инженерно-геологических и сейсмических исследований.

Академик М.А. Садовский считает, что в пределах территорий с максимально возможной интенсивностью землетрясений 6 баллов и менее существенную роль при строительстве АЭС играют не столько

ее сейсмика, сколько "факторы геологической опасности". К ним он относит движение по разломам, тектоническую трещиноватость, газовые выбросы, просадочность лёссовых и неустойчивость торфянистых грунтов, карст, плавунные явления в песках, заболачиваемость, различные эрозии, сели, выветривание, склоновый смыв, гравитационные процессы на склонах (обвалы, осыпи, оползни) и др. Большинство из указанных процессов и явлений изучается при инженерно-геологических исследованиях, но есть и новые, такие, как движения по разломам и возможность газовых выбросов. Таким образом, развитие строительства энергетических сооружений расширяет круг вопросов, которыми должна заниматься инженерная геология.

Сейчас становится все яснее, какое большое значение имеет воздействие человека на территории городов. Возникающие при этом техногенные процессы отличны от природных геологических. В Советском Союзе 62% городов используют для организации питьевого водоснабжения подземную воду, еще 18% — подземную и поверхностную; итого 80% советских городов используют для водоснабжения подземные воды. Причем в ряде случаев она используется не только для питьевого водоснабжения, но и для других целей. Это часто приводит к чрезмерно большим водозаборам, в результате чего возникают различные техногенные процессы. В городах, где карбонатные породы залегают на глубине порядка 100 м, могут возникнуть суффозионно-карстовые процессы, которые раньше никогда на этих территориях не наблюдались. Под влиянием этих процессов возможно разрушение многоэтажных зданий. Прогноз таких процессов, как и большинства других, возможен только при совместной работе инженер-геологов и гидрогеологов. При росте городов застраиваются старые, предварительно засыпанные свалки. Создаются насыпные газогенерирующие грунты, которых никогда сама природа без вмешательства человека не создавала. Количество выделяющегося метана может быть настолько значительным, что оказывается целесообразным использовать его для промышленных целей. Нельзя забывать, что газогенерирующие грунты могут создать взрывоопасную ситуацию. Вот два примера возникновения техногенных особенностей в условиях города. Можно было бы назвать и другие (интенсивное подтопление, развитие процессов коррозии, оползни и т.п.). Город — это территория, где геологическая среда подвергается концентрированному, интенсивному и разнообразному воздействию человека, которое по мере развития НТП становится все глубже.

Возникновение техногенных геологических процессов на значительной глубине связано главным образом с добychей полезных ископаемых. Это одна из особенностей инженерной геологии полезных ископаемых. При этом главной проблемой инженерной геологии полезных ископаемых можно считать напряженное состояние грунтов и его влияние на возникновение геологических процессов на различной глубине. С этим, в частности, связаны катастрофические геологические процессы, происходящие в шахтах на большой глубине.

Противоположными инженерно-геологическими условиями характеризуются инженерно-геологические исследования, которые проводятся при строительстве линейных или мелиоративных сооружений. В обоих случаях главным объектом исследований является зона аэрации. Большое влияние на сооружения оказывает почвенный покров, факторы природной географической зональности. Как видно, в направлениях инженерно-геологических исследований линейных сооружений (дорог, трубопроводов, линий электропередач, аэродромов) и мелиоративных сооружений есть много общего. Но между ними существует и значительное отличие. Оно обусловлено тем, что при инженерно-геологических исследованиях под мелиоративные сооружения всегда на первом месте находятся вопросы, связанные с водой.

Таким образом, прикладные направления инженерной геологии имеют свои особенности. Но в основе всех лежат теоретические положения, разрабатываемые грунтоведением, инженерной геодинамикой и региональной инженерной геологией.

Долгосрочные прогнозы в инженерной геологии. Инженерная геология — наука, которая призвана решать ответственные проблемы охраны и рационального использования геологической среды. При этом речь идет не только о решении конкретных вопросов сегодняшнего дня. Имеются в виду также долгосрочные прогнозы.

Ф. Энгельс в своей работе "Диалектика природы" вскрыл причины появления горьких последствий бездумного хозяйствования на Земле. Он показал их социальные корни. "Все существующие до сих пор способы производства имели в виду только достижение ближайших, наиболее непосредственных полезных эффектов труда. Дальнейшие же последствия, появляющиеся только позднее и оказывающие действие благодаря постепенному повторению и накоплению, совершенно не принимались в расчет" [1].

В условиях социалистического общества этот недостаток легко устраним путем разработки долгосрочных прогнозов. Долгосрочный прогноз в области охраны и рационального использования окружающей среды и, в частности, одной из ее компонент — геологической среды может выражаться в различных формах. Одна из них — выделение научных приоритетных направлений, утверждаемых АН СССР. Другая — проведение Госстроем СССР плановой инженерной защиты территорий и строительства в районах распространения опасных геологических процессов. Третья — подготовка фундаментальных монографий (таких, как "Инженерная геология СССР"), которые станут основой долгосрочного прогноза.

Естественно, что при разработке долгосрочных прогнозов мы должны исходить из установок партии о развитии нашего народного хозяйства. Эти установки были четко сформулированы в решениях XXVII съезда КПСС, в ряде постановлений ЦК КПСС и Совета Министров СССР, в выступлениях Генерального секретаря ЦК КПСС М.С. Горбачева [2]. Вопросы перестройки экономики, народного хозяйства, организации научных исследований — это тот фундамент, на котором будет строиться дальнейшее развитие в Советском Союзе любой науки, в том числе и инженерной геологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 20. 827 с.
2. Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. М.: Политиздат, 1987. 352 с.
3. Вернадский В.И. Несколько слов о ноосфере // Успехи биологии. 1944. Т. 18, вып. 2. С. 113—120.
4. Мельникова К.П., Сергеев Е.М. Идеи В.И. Вернадского о ноосфере и дальнейшее развитие инженерной геологии // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 1963. № 1. С. 43—47.
5. Осипов В.И. Определение плотности и влажности грунтов по рассеянию гамма-лучей и нейтронов. М.: Изд-во МГУ, 1968. 157 с.
6. Почвенно-геологические условия Нечерноземья. М.: Изд-во МГУ, 1984. 608 с.
7. Сергеев Е.М. Инженерная геология — наука о геологической среде // Инж. геология. 1979. № 1. С. 3—19.
8. Сидоренко А.В. Человек, техника, Земля. М.: Недра, 1967. 58 с.
9. Теоретические основы инженерной геологии: Геол. основы. М.: Недра, 1985. 332 с.
10. Теоретические основы инженерной геологии: Физ.-хим. основы. М.: Недра, 1985. 288 с.
11. Теоретические основы инженерной геологии: Мех.-мат. основы. М.: Недра, 1986. 254 с.
12. Теоретические основы инженерной геологии: Соц.-экон. аспекты. М.: Недра, 1985. 259 с.
13. Филатов М.М. Полевой метод определения гранулометрического вида почв и грунтов // Дорога и автомобиль. 1931. № 5/6. С. 125—130.
14. Филатов М.М. Грунтovedение к двадцатой годовщине Великой Октябрьской социалистической революции // Почтоведение. 1937. № 9. С. 1348—1360.

УДК 556.3

В.М. Швец

Достижения и перспективы развития гидрогеологии

I. В литературе в последние годы истории, состоянию и перспективам развития гидрогеологии уделяется большое внимание, хотя к настоящему времени еще не создано фундаментального труда по истории гидрогеологии как отрасли геологических знаний. Известная монография Д.И. Гордеева [4], как ее оценивает П.Ф. Швецов, "представляет собой летопись наблюдений и отдельных высказываний изыскателей и исследователей подпочвенных вод на территории СССР. В работе преобладает фактический справочный материал и очень мало мы узнаем об истории возникновения новых гидрогеологических идей, их борьбы, развития системы научных понятий, доказательств их справедливости и практической значимости" [13, с. 103]. Отмеченные недостатки в большой степени были преодолены в последних работах Е.В. Пиннекера [10], О.К. Ланге и Н.И. Плотникова [7], П.Ф. Швецова [12, 13], в докладах, представленных на I Всесоюзной гидрогеологической конференции [8], и др. В этих публикациях развитие гидрогеологии рассматривается не только как

результат воздействия практической деятельности человеческого общества, но и в соответствии с предпосылками внутренней логики развития науки как системы знаний о природных объектах.

Напомним кратко основные даты, события и мероприятия, в той или иной степени отражающие этапы истории гидрогеологии.

Термин "гидрогеология" был введен в 1802 г. Ж. Ламарком, хотя использование подземных вод для водоснабжения, мелиорации и лечебных целей известно с древних времен. Возникновение гидрогеологии как науки в нашей стране относится к последней четверти XIX в., т.е. ко времени начала систематических геологических исследований, проводимых созданным в 1882 г. Геологическим комитетом. Становление гидрогеологии связано с именами известных русских геологов И.В. Мушкетова, Н.А. Соколова, С.Н. Никитина. Первая кафедра гидрогеологии была организована в 1914 г. проф. А.Н. Семихатовым в Московском гидромелиоративном институте.

В советское время гидрогеология получила мощный импульс для своего развития, так как именно после Великой Октябрьской Социалистической революции стали разрабатываться теоретические основы гидрогеологии, классификации подземных вод, принципы гидрогеологического районирования, проблемы формирования подземных вод, методы гидрогеологических исследований и др. Впервые планомерная подготовка специалистов по гидрогеологии началась в Московской горной академии, где в 1920 г. была создана гидрогеологическая специальность. Крупным событием в развитии гидрогеологии стал I Всесоюзный гидрогеологический съезд (г. Ленинград, 1931 г.), в работе которого приняли участие крупнейшие советские геологи В.И. Вернадский, И.М. Губкин, А.П. Карпинский и др. На этом съезде руководитель геологоразведочной службы страны акад. И.М. Губкин поставил перед гидрогеологией как новой быстро развивающейся наукой основные задачи и определил первоочередные проблемы, решение которых чрезвычайно важно для социалистического строительства. В частности, И.М. Губкин сказал: "Гидрогеологические работы должны опережать работы по изысканию наших минеральных ресурсов, и если геологоразведочные работы по минерально-сырьевой базе должны идти впереди промышленности, то гидрогеология должна не только идти впереди промышленности и других сторон народного хозяйства, но должна опережать эксплуатационные геологоразведочные и поисковые работы" [5, с. 20]. Эти слова звучат актуально и в наши дни.

В 1930-е годы возникла школа советских гидрогеологов во главе с акад. Ф.П. Саваренским, который является автором одного из первых учебников по гидрогеологии для вузов (1933 гг.). Крупный вклад в развитие гидрогеологии внесли О.К. Ланге, А.Н. Семихатов, Н.Н. Славянов, Н.И. Толстыхин, Г.Н. Каменский и др. Выдающееся значение для гидрогеологии имел (и имеет до настоящего времени) труд акад. В.И. Вернадского "История природных вод", опубликованный в 1933—1935 гг. В нем выполнено крупное обобщение фактических данных о природных (в том числе подземных)

водах и показана их геологическая роль. В.И. Вернадский — основатель одного из основных разделов гидрогеологии — гидрогео-

Важными научно-организационными мероприятиями, безусловно способствовавшими развитию гидрогеологии, явились создание в 1939 г. ведущего научного и методического центра — Всесоюзного научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), а также организация Ф.П. Саваренским в 1943 г. в системе АН СССР Лаборатории гидрогеологических проблем. Подведением итогов послевоенного развития гидрогеологической науки и практики явились всесоюзные научно-технические совещания в г. Ереване (1963 г.) и в г. Ташкенте (1975 г.). Издание в 1966—1972 гг. уникального коллективного труда гидрогеологов — 45-томной монографии "Гидрогеология СССР" объемом 2000 п.л. — явилось итогом регионального обобщения накопленных в нашей стране эмпирических гидрогеологических данных.

Большое значение для гидрогеологии имело преобразование в 1980 г. Научного совета АН СССР по инженерной геологии и грунто-ведению в Научный совет по инженерной геологии и гидрогеологии. Президиум АН СССР, принимая это постановление в целях дальнейшего усиления работ в области гидрогеологии, поручил Совету координацию исследований по проблемам регионального изучения гидрогеологических условий территории СССР, изучения гидрогеологических условий криолитозоны, развития геофизических, дистанционных и математических методов исследований в гидрогеологии, исследования режима, баланса, динамики и ресурсов подземных вод, роли подземных вод в развитии геологических процессов, исследования геохимии подземных вод, в том числе минеральных, термальных и промышленных. Опыт работы научного совета показал плодотворность объединения усилий гидрогеологов и инженер-геологов в решении важных, часто комплексных, гидрогеологических и инженерно-геологических задач. Многие проблемные комиссии и региональные секции Научного совета совместно решают эти задачи, что способствует повышению эффективности научно-исследовательских работ. Научным советом проводятся конференции, семинары, издаются труды, составлены координационные планы научно-исследовательских работ на одиннадцатую и двенадцатую пятилетки и на перспективу до 2000 г., разработана классификация научных направлений гидрогеологии.

Крупным мероприятием Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии была организация и проведение в Москве в 1982 г. всесоюзной гидрогеологической конференции "Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов". На конференции были рассмотрены наиболее актуальные проблемы современной гидрогеологии, связанные с интенсификацией промышленного и сельскохозяйственного производства в нашей стране, с расширением минерально-сырьевой базы, развитием территориально-производственных и агропромышленных комплексов, строительством крупных объектов, с охраной окружающей среды и др.

Смотром достижений советских гидрогеологов перед мировой наукой явилась XXVII сессия Международного геологического конгресса, проходившая в Москве в 1984 г. Во время сессии работали секция "Гидрогеология" и межсекционный симпозиум "Геохимия элементов питьевых подземных вод", на которых основное внимание было обращено на современные теоретические проблемы гидрогеологии, прогнозы изменений ресурсов и химического состава подземных вод, методы моделирования гидрогеологических процессов, гидрогеологические проблемы оптимизации использования подземных вод и управления их режимом, экологические последствия искусственных изменений гидрогеологических условий. Рассмотрение указанных проблем на сессии конгресса показало, что советская гидрогеологическая наука добилась серьезных успехов как в теоретической, так и в прикладной гидрогеологии и по ряду научных направлений занимает передовые позиции.

В последние годы активно и плодотворно происходило внедрение гидрогеологических знаний в другие геологические науки. Особенно наглядно это проявилось при проведении в 1985 г. в Москве всесоюзной конференции "Подземные воды и эволюция литосфера", где были рассмотрены такие новые направления гидрогеологии, как флюидный режим литосфера, гидротермальные процессы, роль подземных вод при литогенезе, метаморфизме и формировании месторождений полезных ископаемых. Конференция показала, что без привлечения подземных вод в разных их состояниях многие геологические процессы, происходящие в литосфере, не могут быть полностью познаны.

Важным вкладом в развитие советской гидрогеологии явилось создание 6-томного коллективного труда "Основы гидрогеологии" (М.: Наука, 1980—1984), удостоенного в 1986 г. Государственной премии СССР в области науки. В этой монографии на современном уровне рассмотрены основные теоретические, методические и прикладные вопросы гидрогеологии как науки геологического цикла. В ней обобщены представления ведущих отечественных и зарубежных ученых о закономерностях распространения воды в земной коре, ее геологической роли. Основное вниманиеделено гидрогеологическим процессам и явлениям, формированию состава и ресурсов подземных вод, их режиму, балансу, современным методам гидрогеологических исследований — дистанционным, геофизическим, изотопным. Рассмотрены актуальные проблемы охраны подземных вод, прогноза изменений их формирования в техногенных условиях с учетом влияния этих изменений на геологическую среду.

II. К настоящему времени гидрогеология стала комплексной многоотраслевой наукой с отдельными сформировавшимися дисциплинами и научными направлениями. Она способна решать различные фундаментальные проблемы и важные практические народнохозяйственные задачи.

При проведении гидрогеологических исследований широко применяются методы других геологических наук, математики, физики, химии; используется электронно-вычислительная техника, аэрокосми-

ческие, изотопные методы, данные глубокого и сверхглубокого бурения, результаты исследований морского дна и др.

Несмотря на то что гидрогеология как наука существует 100 лет, все еще дискуссионными остаются определение гидрогеологии и объект ее изучения. В последних работах гидрогеологов — учебниках, монографиях, статьях — объект гидрогеологии трактуется неоднозначно. Рассмотрим лишь несколько определений.

В монографии "Основы гидрогеологии" [10] Е.В. Пиннекер определяет гидрогеологию как науку, изучающую историю подземной гидросферы (причем последняя охватывает все внутриземные молекулы воды), ее ресурсы и состав, закономерности пространственного распределения составляющих ее компонентов, происходящие в ней процессы и взаимодействия с окружающими земными оболочками, а также народнохозяйственное значение компонентов подземной гидросферы и влияние на них деятельности человека.

В учебнике "Гидрогеология" под редакцией В.М. Шестакова и М.С. Орлова гидрогеология определяется как "учение о подземных водах, под которыми понимаются природные водные растворы, находящиеся под поверхностью земли в подвижном состоянии (капельно-жидкая фаза) и взаимодействующие с горными породами (твердой фазой), подземными газами (газовой фазой) и биосферой" [2, с. 6]. Как видим, в это определение входят только капельно-жидкие воды, с чем сейчас не согласны многие гидрогеологи, так как при изменении термобарических условий вода из одного физического состояния может переходить в другие (связанные и свободные воды, газо-паровые смеси, лед).

О.К. Ланге и Н.И. Плотников считают, что "современная гидрогеология является естественно-исторической наукой, изучающей историю и процессы формирования гидрофосферы и ее изменения, происходящие под влиянием техногенных причин" [7, с. 55]. Гидрофосферу как объект гидрогеологии также называет Н.М. Фролов [11]. Пытаясь устранить противоречия, которые якобы возникают при попытках включить гидрогеологию в гидрологию, он предлагает новый термин "геоаквология" для интегрирующей науки о водной оболочке Земли — геоаквасфере. Нам кажется излишним вводить новую геосферу, так как имеющиеся термины достаточно полно определяют строение Земли, а попытки считать гидрогеологию составной частью гидрологии остались бесплодными.

По определению П.А. Киселева и М.П. Толстого [6], гидрогеология изучает все виды воды, заключенные в литосфере и мантии, историю их формирования, состав, динамику, накопление, режим, взаимодействие с горными породами. И, наконец, П.Ф. Швецов в своей последней работе утверждает, что гидрогеология — это наука не о воде, находящейся ниже земной поверхности, а "о процессах и явлениях, связанных с наличием, сменой состояний внутриземных водных растворов, о закономерностях движения, об источниках, режиме и ресурсах их в разных ярусах земной коры. Ведущий гидрогеологический процесс — водообмен в геосистемах литосфера—почва и литосфера—водоем" [13, с. 127].

Последнее определение гидрогеологии кажется более емким, по сути отражающим основное ее содержание — изучение процессов и взаимодействий, происходящих с участием вод разных видов и фазовых состояний в литосфере в ходе геологической истории. Вероятно, в будущем гидрогеология должна стать наукой о законах, описывающих эти процессы и взаимодействия. Общепризнанным можно считать положение, что гидрогеология имеет дело не просто с водами в виде молекул H_2O , а со сложными многокомпонентными растворами.

Некоторые различия имеются и в терминологии. Конечно, более правильно называть воды, находящиеся ниже земной поверхности, не подземными, а внутриземными, или литосферными, как это предлагаёт П.Ф. Швецов, но термин "подземные воды" настолько глубоко и прочно вошел в гидрогеологию, что его практически невозможно искоренить из нашего обихода. Тем более что все гидрогеологи правильно понимают содержание этого термина. Что касается термина "подземная гидросфера", или "гидрогеосфера", то особенно активно в последние годы его стал применять в гидрогеологии Е.В. Пиннекер, ссылаясь на Ф.П. Саваренского, который различал наземную и подземную гидросферы. Подземная гидросфера, по образному выражению А.М. Овчинникова, использовавшего этот термин в своем учебнике по общей гидрогеологии и других работах, представляет собой "литосферу, пропитанную водой". В настоящее время именно в таком понимании этот термин применяют многие гидрогеологи (О.К. Ланге, Н.И. Плотников, Ж.С. Сыдыков, С.И. Смирнов и др.). Вопросы терминологии в любой науке представляют не только теоретический, но и практический интерес, поэтому в составе Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии недавно создана понятийно-терминологическая рабочая группа, задачей которой является проанализировать применяемые термины и соответствующие им понятия и высказать рекомендации по их совершенствованию с позиций системного подхода.

Важным вопросом в гидрогеологии является определение пространственных границ гидрогеологических объектов. Очевидно, это границы распространения литосферы, верхней границей которой является зона аэрации (как буферный слой, по А.М. Овчинникову, между атмосферой и подземной гидросферой), а нижней — астенофера. Таким образом, сфера гидрогеологических исследований включает как земную кору (осадочный слой и фундамент), так и верхнюю мантию. Мощность литосферы под океаном оценивается в 40—50 км, а на континентах — до 200 км. В настоящее время гидрогеология в основном ограничивается исследованиями верхнего этажа литосферы в пределах континентов, хотя уже начаты работы в связи с морским бурением по созданию субмаринной гидрогеологии и в перспективе планетарной гидрогеологии.

Имеющиеся данные позволяют предполагать наличие воды не только в глубоких частях земной коры, но и в верхней мантии, где обнаружены слои с высокой электропроводностью. Считается, что в глубоких частях литосферы вода находится в форме уплотненного

флюида. Что касается зоны распространения жидких вод, то в разных геологических структурах она имеет различную мощность: в областях активного вулканизма — до 8—10 км, в структурах мезозойского возраста — до 15—20 км, в структурах палеозойского возраста — до 20—25 км и в структурах допалеозойского возраста — до 30—35 км.

О количестве воды, содержащейся в литосфере, нет точных данных. По оценкам М.И. Львовича, объем свободной и связанной воды в земной коре до глубины примерно 5 км составляет 60 млн км³. В.И. Вернадский для 16-километрового слоя литосферы приводит цифру в 450—600 млн км³. В.Ф. Дёрпгольц оценивает объем воды в земной коре мощностью 35 км на континентах и около 5 км под океанами 840—1050 млн км³. Уточнение общего количества воды в подземной гидросфере — задача ближайшего будущего.

В опубликованной литературе последних лет много внимания уделяется научному содержанию и структуре современной гидрогеологии как науки [6, 7, 11—13]. Во всех работах по структуре гидрогеологии выделяются фундаментальные (теоретические) направления и прикладные. В коллективной статье [12] среди основных теоретических направлений гидрогеологии выделены региональное, гидро-геодинамическое, гидрогеофизическое, гидрохимическое, а также изучение режима, баланса и запасов подземных вод. Прикладных направлений, выполняемых по запросам разных отраслей производства, довольно много и число их увеличивается. Это научно-методические и научно-технические работы, направленные на решение целевых задач геологоразведочного дела, горнодобывающей промышленности, строительства, мелиорации и др. Они включают четыре основных направления: 1) разработка методов и технических средств гидрогеологических исследований (методическая гидрогеология или гидрогеотехника); 2) разведка месторождений подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения, лечебных целей, извлечения ценных химических компонентов, теплофизики и геоэнергетики, мелиорации и др. (разведочная гидрогеология); 3) борьба с подземными водами при разработке месторождений полезных ископаемых, при проведении различных видов строительства — гражданского, гидротехнического, дорожного, промышленного и др. (инженерная гидрогеология); 4) охрана подземных вод как компонента геологической среды от истощения и загрязнения (техногенная гидрогеология).

В 1984 г. Научным советом АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии была разработана классификация научных направлений гидрогеологии, включающая пять фундаментальных и восемь прикладных направлений. Отдельно выделены общетеоретические и методологические проблемы гидрогеологии, а также гидрогеологические основы рационального использования и охраны окружающей среды и сохранения экологического равновесия в природе.

Фундаментальные направления включают: 1) региональную гидрогеологию; 2) гидро-геодинамику; 3) гидрохимию; 4) гидро-термию; 5) гидрогеофизику.

Среди прикладных направлений выделены: 1) поиски, разведка, оценка запасов и управление ресурсами всех типов подземных вод; 2) режим и баланс подземных вод; 3) мелиоративная гидрогеология; 4) гидрогеология месторождений полезных ископаемых, гидрогеологические методы поисков, условия разработки и эксплуатации месторождений; 5) гидрогеологические предвестники землетрясений и других бедствий; 6) гидротехническое, промышленное и гражданское строительство; 7) разработка методов и средств гидрогеологических исследований; 8) экономика гидрогеологических исследований.

Общетеоретические и методологические проблемы следующие: 1) генетическая модель и эволюция подземной гидросферы; 2) теория формирования подземных вод и моделирование гидрогеологических процессов; 3) роль воды в развитии геологических процессов; 4) тепломассоперенос в подземной гидросфере; 5) структура науки гидрогеологии и совершенствование понятийно-терминологической базы гидрогеологии.

III. Кратко рассмотрим некоторые вопросы фундаментальных направлений гидрогеологии. В области региональной гидрогеологии большой интерес представляют результаты бурения и исследования Кольской сверхглубокой скважины, которая достигла глубины 12 км. Несмотря на то что при ее бурении не были проведены специальные гидрогеологические исследования, выполненный обширный комплекс работ позволил получить и интересующую нас информацию. В частности, с изменением метаморфической зональности в диапазоне от пренит-пумпеллитовой до эпидот-амфиболитовой уменьшается содержание воды в породах от 6,8 до 1,5%. Впервые обнаружено присутствие в глубинных зонах континентальной коры минерализованных подземных трещинных вод и выявлена вертикальная гидрохимическая зональность: хлоридно-кальциевые воды с глубиной сменяются гидрокарбонатно-натриевыми. С глубиной увеличиваются значения геотермического градиента, в составе газов возрастает роль водорода и гелия и снижается содержание углеводородных газов. Доля радиогенного тепла в общем балансе теплового потока превышает 50%. Горное давление по разрезу скважины распределено неравномерно — наблюдаются участки разного спада или увеличения напряжений по сравнению с литостатическим давлением. В связи с развертыванием в нашей стране работ по изучению глубинного строения Земли путем сверхглубокого бурения гидрогеологам важно принять в них самое активное участие с целью изучения гидрогеологических особенностей нижнего этажа подземной гидросферы.

Исследования последних лет, в том числе данные глубокого бурения, показали общую закономерность для артезианских бассейнов платформ и предгорных прогибов, заключающуюся в том, что роль примыкающих горноскладчатых сооружений как областей питания глубоких горизонтов ограничивается десятками, реже сотнями километров. Региональные потоки в пределах этих бассейнов, особенно в нижних этажах, как правило, ограничены в масштабах или вообще отсутствуют. Все большее внимание уделяется вертикальному

движению подземных вод, причем не только на локальных участках тектонических нарушений, но и в региональном масштабе [1].

Среди достижений региональной гидрогеологии следует отметить подготовленный ВСЕГИНГЕО и изданный в 1983 г. "Атлас гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР" как приложение к сводному тому монографии "Гидрогеология СССР". Этот атлас содержит 22 гидрогеологические карты разных масштабов, на которых отражены условия распространения, залегания и формирования подземных вод, ресурсы и перспективы использования различных типов подземных вод — пресных и солоноватых, минеральных, термальных и промышленных. В комплексе все эти карты дают общую характеристику гидрогеологических условий территории СССР.

Гидрогеодинамика — первая гидрогеологическая дисциплина, активно применившая количественные методы исследований. В настоящее время она наиболее разработана для пресных подземных вод. Законы движения воды в глубоких частях литосферы (флюидодинамика) в слабопроницаемых (глинистых) породах изучены еще очень слабо. Большое внимание в последние годы стало уделяться вопросам вертикального перетекания воды через глинистые слои, т.е. вопросам взаимосвязи водоносных горизонтов и комплексов. Сейчас уже общепризнанно и даже используется в практических расчетах при оценке эксплуатационных запасов подземных вод, что глинистые породы являются не абсолютными водоупорами, а слабопроницаемыми слоями, движение воды в которых происходит за счет двойной пористости (поровой и трещинной), молекулярной диффузии и др.

Исследованиями последних лет установлено, что проницаемость глин изменяется с изменением физико-химических и термодинамических условий, особенно для монтмориллонитовых глин [3]. Выявлено, что проницаемость глин по отношению к пресной воде значительно ниже, чем по отношению к минерализованным водам. С ростом температуры проницаемость глин также возрастает, причем более резко, чем под влиянием минерализации вод. Эти выводы имеют принципиальное значение для понимания процессов региональной динамики подземных вод в условиях их глубокого залегания в областях высоких температур. Кроме того, изучение процессов фильтрации в глинах необходимо в связи с охраной подземных вод от загрязнения и обоснованием подземного захоронения промстоков в глубокие водоносные горизонты.

Весьма важными, на наш взгляд, являются исследования, основанные не только на гидродинамических моделях конвективного и диффузионно-конвективного массопереноса, но и на молекулярно-кинетической модели миграции вещества через поровое пространство глин [1, 9]. Особенностью такого подхода является учет как общей концентрации мигрирующего вещества, так и концентрации и подвижности всех составляющих его компонентов. Выдвигается положение о том, что каждый компонент раствора в потоке вещества через поровое пространство имеет свою физическую скорость миграции.

Особого внимания требуют актуальные вопросы динамики вод глубоких зон литосферы, а также тесно связанные с ними вопросы динамики водонапорных систем нефтегазоносных бассейнов. Сейчас уже начаты исследования по изучению флюидного тепломассопереноса, его роли в нефте- и газообразовании, в формировании подземной гидросферы. В процессе глубокого бурения мы встречаемся с новыми явлениями, требующими анализа и объяснения. Например, еще полностью не известны причины наличия зон сверхгидростатического пластового давления и недавно выделенных гидродинамических систем депрессионного типа (снижение напоров вниз по разрезу). Такие системы обнаружены в некоторых нефтегазоносных бассейнах (Западно-Сибирский и др.). Предполагается возможная связь таких систем с мобильными участками земной коры — рифтовыми зонами.

В последние годы в динамике подземных вод большое внимание уделяется массопереносу, миграции компонентов в подземных водах применительно к проблемам загрязнения подземных вод, подземного захоронения промстоков, интрузии морских вод и др. Разделы о гидродинамических основах теории миграции веществ в подземных водах включены в последние учебники по динамике подземных вод В.М. Шестакова (1979 г.) и В.А. Мироненко (1983 г.). Интересными работами последних лет, посвященными вопросам построения и использования моделей массопереноса с применением ЭВМ, являются монографии В.И. Лялько (1985 г.), Л. Лукнера и В.М. Шестакова (1986 г.), свидетельствующие о больших достижениях в разработке теории переноса вещества в подземных водах. Эта теория основана на использовании методов теории фильтрации и физико-химической гидродинамики с учетом физико-химического взаимодействия в системе водный раствор—порода при переменных термодинамических условиях. Если раньше в динамике подземных вод процессы фильтрации рассматривались без учета переноса вещества движущимися водами, то сейчас разработаны методы, алгоритмы и программы расчета на ЭВМ массопереноса, учитывающего перенос растворенных компонентов, их физико-химические превращения и взаимодействия с породой. Однако следует отметить, что методы определения миграционных параметров (параметра переноса вещества, параметров обменных процессов и процессов метаморфизации, или превращений веществ в подземных водах) разработаны и апробированы еще явно недостаточно, что связано со сложностью таких исследований. Кроме того, некоторые параметры лишь интегрально учитывают процессы взаимодействия в системе вода—порода, что предполагает применение упрощенных моделей их описания; недостаточно данных для определения параметров кинетики процессов. Указанные исследования гидрогеодинамиков по изучению условий миграции веществ в подземных водах тесно переплетаются с работами гидрохимиков, однако между ними еще мало взаимодействия и совместных исследований. Например, с позиций гидрохимии неправомерно использование термина "миграция подземных вод", под которым понимается перенос вещества, или миграция

компонентов, в частности загрязняющих веществ, в подземных водах. Поэтому более правильно говорить не о миграции подземных вод, а о миграции компонентов (вещества) в подземных водах, т.е. так, как это принято во всей геохимической и гидрогеохимической литературе, а также в Геологическом словаре (1979 г.). Кстати Ф.М. Бочевер, А.Е. Орадовская, Н.Н. Веригин так и поступали, рассматривая вопросы химической гидродинамики применительно к изучению загрязнений подземных вод и других вопросов.

Мы назвали здесь далеко не все актуальные направления гидро-геодинамики. Естественно, что их существует значительно больше, о чем свидетельствует большое количество публикаций, в том числе в настоящем сборнике.

Гидрогеохимия в настоящее время развивает идеи В.И. Вернадского о природных водах как сложных физико-химических системах, находящихся во взаимосвязи с породой, газами, органическим и живым веществом и определяющих в значительной мере перераспределение химических элементов на Земле. Важнейшим достижением гидрогеохимии стала разработка теории гидрогеохимической зональности, которая явилась основой при составлении гидрогеохимических карт. Сейчас эта теория получила свое дальнейшее развитие, так как установлены зональные явления не только для минерализации и общего химического состава подземных вод, но и для газов, микрокомпонентов, органических веществ, микроорганизмов, окислительно-восстановительного потенциала. На результаты исследований гидрогеохимической зональности опирается гидрогеохимическое прогнозирование. В 1984 г. в Киеве состоялся Всесоюзный семинар, посвященный моделированию гидрогеохимических процессов и научным основам гидрогеохимических прогнозов. Семинар показал, что имеются определенные успехи в разработке методов моделирования на ЭВМ переноса вещества в подземной гидросфере с учетом кинетики взаимодействия в системе вода—порода. В ряде исследований анализ моделей доведен до прямого моделирования природных гидрогеохимических процессов на гидрогеологических объектах, что позволяет количественно оценивать тенденции в развитии этих процессов при решении ряда инженерных задач (мелиорация, охрана подземных вод от загрязнения, прогноз качества воды на действующих водозаборах и др.). Возможности физико-химического моделирования используются и в приложении к проблеме рудообразования. Имеются данные о накоплении рудных элементов в поровых водах седиментационных бассейнов и в способности этих вод к стратиформному рудообразованию.

Среди важных практических задач, стоящих перед гидрогеохимией, следует назвать оценивание качества пресных подземных вод, используемых для хозяйствственно-питьевого водоснабжения. Можно сказать о рождении в последние годы нового целевого направления гидрогеохимии — геохимии пресных питьевых подземных вод. Необходимо расширить в ГОСТе перечень микроэлементов в питьевой воде, учитывая не только их избыток в воде, но и недостаток, что также важно для здоровья человека. Важно учитывать

формы нахождения элементов в питьевых водах, особенно комплексные соединения, и их биологическую роль.

Активно развивается мелиоративная гидрогеохимия, в содержание которой входят: изучение процессов солепереноса под воздействием мелиоративных мероприятий; расчеты солевого баланса засоления почв зоны аэрации и грунтовых вод; изучение качества поливных вод, значение поровых вод зоны аэрации в солеобмене и др. Больше внимания необходимо уделить микрокомпонентам поливных вод, которые самым непосредственным образом влияют на произрастание растений и, что самое главное, на качество сельскохозяйственной продукции. Здесь гидрогеохимия смыкается с новыми направлениями биогеохимии — выяснением связей между здоровьем человека и геохимическими особенностями вод и почв. В мелиоративной гидрогеохимии важной задачей является совершенствование прогноза гидрогеохимических явлений при мелиорациях земель с учетом физико-химических процессов в системе вода—пурпур (почва).

В последние годы получило развитие палеогидрогеохимическое направление применительно к оценкам рудоносности и нефтегазоносности геологических формаций. Имеются достижения и в традиционном направлении — рудо- и нефтепоисковой гидрогеохимии, о чем свидетельствуют материалы проведенного в 1986 г. в г. Томске всесоюзного научного совещания "Гидрогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых".

Гидрофизические и гидрогеотермические направления гидрогеологии разрабатываются в меньших масштабах по сравнению с рассмотренными. Тем не менее по этим направлениям имеются определенные достижения в изучении процессов теплообмена, закономерностей изменения температуры недр Земли и тепловых потоков во времени и пространстве, формирования геотермических аномалий, сейсмических проявлений в подземных водах. Обнаружен новый вид геофизического поля, названный гидрогеодеформационным полем, обусловленным быстропротекающими пульсационными изменениями в подземной гидросфере. Можно сказать о формировании и развитии новых дисциплин гидрогеологии — гидрогеотермии и сейсмогидрогеологии.

IV. Из прикладных направлений гидрогеологии рассмотрим только два — подземные воды как полезное ископаемое и охрана подземных вод как компонента геологической среды. В области исследований, связанных с изучением подземных вод как полезного ископаемого, следует отнести работы по проблеме формирования месторождений различных типов подземных вод — пресных, минеральных, промышленных и термальных, разработке методики их поисков, разведки и оценки естественных ресурсов и эксплуатационных запасов. Разработана методика построения постоянно действующих математических моделей гидрогеологических регионов для управления ресурсами и режимом подземных вод. Такая модель построена для Равнинно-Крымского артезианского бассейна. Большое внимание уделяется разработке методов регулирования работы водозаборов. Выполненные исследования позволили существенно увеличить удельный

вес пресных подземных вод в общем балансе хозяйствственно-питьевого водоснабжения. Высокой оценкой труда советских гидрогеологов, работающих в области изучения пресных подземных вод, явилась Государственная премия СССР в 1981 г. за разработку научных основ, методики проведения поисково-разведочных работ и практическое использование подземных вод для водоснабжения. В настоящее время 76% вод, потребляемых для хозяйствственно-питьевого водоснабжения, составляют подземные воды, 62% всех городов СССР используют подземную воду как единственный источник водоснабжения. Впервые в мировой практике выполнены работы по региональной оценке эксплуатационных запасов и естественных ресурсов пресных подземных вод страны в целом и ее отдельных регионов. Разработаны научные основы создания автоматизированной системы Государственного водного кадастра СССР.

Большие работы ведутся по теоретическому и методическому обоснованию использования подземных вод на орошение. Разработаны физико-математические и экономико-математические модели состояния подземных вод на орошаемых территориях и оптимальных вариантов их использования, методы прогнозирования гидродинамического и гидрохимического режима. Организациями Мингео СССР проведено районирование территории страны по возможностям использования подземных вод для орошения.

Серьезные достижения имеются и в области изучения и использования минеральных, термальных и промышленных вод, для которых к настоящему времени выполнена региональная оценка эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов для всех районов их распространения и для территории СССР в целом. Сейчас в нашей стране эксплуатируется более 500 месторождений минеральных вод, на базе которых функционирует более 270 курортов и санаториев, более 170 бальнеолечебниц и профилакториев, около 140 заводов розлива. Ежегодно потребляется около 2,4 млрд бутылок минеральной воды 170 типов. Подведением итогов теоретических и научно-методических работ в области исследований минеральных, термальных и промышленных вод явилась подготовка и издание коллективного фундаментального труда "Методы изучения и оценка ресурсов глубоких подземных вод" (1986 г.) под редакцией С.С. Бондаренко и Г.С. Вартаняна.

Особенностью развития гидрогеологии последнего времени является изучение влияния на гидрогеологические процессы инженерно-хозяйственной деятельности человека, техногенеза. Значение изменений условий формирования подземных вод при техногенном воздействии велико при строительстве, особенно в городах, при разработке месторождений полезных ископаемых, орошении сельскохозяйственных земель. Весьма важен учет техногенных факторов в карстовых районах, в районах развития оползней, распространения многолетнемерзлых пород. В качестве примера можно сказать о тех проблемах, которые возникают при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. Они заключаются прежде всего в истощении запасов подземных вод и их загрязнении, в необходи-

ности утилизации минерализованных дренажных вод. Причем последние являются попутным полезным ископаемым, так как часто содержат ценные химические компоненты, которые необходимо предварительно извлекать из этих вод. В последние годы достигнуты некоторые успехи в вопросах охраны геологической среды при освоении месторождений полезных ископаемых. Так, в 1986 г. Государственная комиссия по запасам при СМ СССР утвердила требования к изучению и подсчету эксплуатационных запасов дренажных вод при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. Запасы этих вод утверждены по ряду месторождений КМА, цветных и редких металлов.

С целью оценки состояния геологической среды, прогнозирования ее изменений под влиянием техногенных и природных факторов и разработки рекомендаций по предотвращению негативных явлений в 1984 г. ВСЕГИНГЕО разработана целевая научно-производственная программа "Литомониторинг СССР". Эта программа является составной частью общих исследований и мероприятий по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов, определенных решениями XXVII съезда КПСС как одна из важнейших социально-экономических проблем СССР. Указанная программа включает систему наблюдений за подземными водами и непосредственно связанными с ними экзогенными геологическими процессами (деформациями земной поверхности, подтоплением, засолением земель).

В системе Мингео СССР исследования по программе "Литомониторинг СССР" проводятся по трем направлениям: 1) многолетние стационарные наблюдения за режимом подземных вод и экзогенных геологических процессов; 2) контроль за охраной подземных вод от загрязнения и истощения; 3) ведение Государственного водного кадастра по разделу "Подземные воды". Выполнение указанной программы — важная научно-практическая задача на период до 2000 г., которая должна решаться совместными усилиями производственных и научно-исследовательских организаций разных ведомств при координации со стороны ВСЕГИНГЕО.

V. Среди недостатков и нерешенных проблем гидрогеологических исследований можно назвать следующие.

Анализ координационного плана научно-исследовательских работ по проблеме "Гидрогеология" на 1986—1990 гг. показывает, что общетеоретические и методологические проблемы гидрогеологии представлены в нем слабо — всего 8% от общего количества запланированных работ. Недостаточно разрабатываются вопросы формирования подземных вод, их геологической роли, в том числе в формировании полезных ископаемых. Из теоретических направлений наименьшее количество тем относится к гидрогеотермии и гидрофизике, из прикладных — к мелиоративной гидрогеологии и экономике гидрогеологических исследований.

Среди имеющихся недостатков в разработке различных проблем гидрогеологии, кроме названных, необходимо, на наш взгляд, обратить внимание на следующие. Ощущается недостаток в проведении

фундаментальных экспериментальных лабораторных и натурных исследований. Недостаточно изучены процессы тепломассопереноса в реальных гидрогеологических условиях. Слабо исследованы закономерности фильтрации водных растворов в слабопроницаемых отложениях, изменения фильтрационных и емкостных свойств горных пород при изменении нагрузки на пласт, особенности движения подземных вод с переменной плотностью. Стоит проблема достоверности гидрогеологических прогнозов, связанная с качеством и количеством необходимой информации, оптимизацией и комплексированием гидрогеологических исследований. У нас имеется отставание от передового зарубежного уровня в использовании ЭВМ, в создании новейших приборов и оборудования для экспериментальных лабораторных и полевых гидрогеологических исследований — опытно-фильтрационных и опытно-миграционных работ, наблюдений за режимом подземных вод, изучения их вещественного состава, математического моделирования гидрогеологических процессов. Еще недостаточно широко внедряются имеющиеся разработки методов моделирования на ЭВМ переноса вещества и тепла в подземных водах с учетом кинетики взаимодействия в системе вода—порода. Необходимо более активно объединять усилия специалистов, работающих в области моделирования динамики подземных вод и химического взаимодействия в гидрохимических системах, с целью создания более общих моделей и их проверки в натурных условиях, степени их адекватности природным системам.

Следует отметить отставание в технологических разработках по комплексному извлечению ценных химических компонентов из подземных промышленных вод и вообще по практическому использованию этих вод: в настоящее время за рубежом из подземных вод получают около 50 компонентов их солевого состава, а в нашей стране — только три (поваренную соль, йод и бром). В больших масштабах, чем сейчас, можно использовать термальные воды для тепло- и электроэнергетики, коммунально-бытовых нужд и сельского хозяйства.

В решении Продовольственной программы СССР большую роль играют подземные воды, используемые для орошения сельскохозяйственных земель и обводнения пастбищ. Однако в этом деле у нас имеется много недостатков и нерешенных вопросов. В целом в СССР по сравнению с рядом зарубежных стран на орошение используется незначительное количество пресных и солоноватых подземных вод (например, в США 45% территории поливных земель орошается подземными водами, на что затрачивается 65% их общего водоотбора). Совершенно неудовлетворительно ведется учет использования подземных вод на орошение, наблюдается резкое несответствие величины водоотбора на эти цели по данным Мингео СССР и Минводхоза СССР. Медленно осваиваются разведанные и утвержденные запасы подземных вод, хотя многие районы с орошаемым земледелием испытывают острый недостаток в воде. Не разработаны научнообоснованные нормы потребления воды на орошение, слабо изучено влияние минерализации и качества поливных

вод на различные сельскохозяйственные культуры и др. Важные рекомендации по разработке научных и методических вопросов гидрогеологического обоснования использования подземных вод на орошение были выработаны коллективом гидрогеологов на всесоюзном научном семинаре "Использование подземных вод на орошение" (Баку, 1986 г.). Реализация этих мероприятий позволит более эффективно использовать подземные воды для орошения и тем самым внесет свой вклад в выполнение основных задач агропромышленного комплекса, поставленных XXVII съездом КПСС.

VI. Среди актуальных научных и практических задач, стоящих перед гидрогеологией на период до 2000 г., можно назвать следующие.

1. Исследование процессов и закономерностей формирования и распространения подземных вод в земной коре во взаимосвязи с эндогенными, экзогенными и техногенными факторами.

2. Исследование закономерностей формирования естественных ресурсов подземных вод как основы их прогноза.

3. Гидрогеологическое обоснование рационального использования подземных вод с учетом влияния на окружающую среду.

4. Исследование влияния естественных изменений ресурсов и состава подземных вод на окружающую среду — экологию, инженерно-геологические процессы и др.

5. Исследование влияния урбанизации на подземные воды и геологическую среду.

6. Разработка комплексных прогнозов взаимосвязей подземных вод и окружающей среды.

7. Разработка технологий комплексного извлечения полезных компонентов из подземных вод и утилизации отработанных вод.

8. Разработка современных технических средств и приборов, обеспечивающих научно-технический прогресс при гидрогеологических исследованиях на месторождениях пресных, минеральных, термальных и промышленных вод, при проведении теоретических экспериментальных исследований по целевой программе "Литомониторинг СССР" и др.

Решение поставленных задач позволит глубже познать взаимосвязь гидрогеологических и инженерно-геологических процессов, повысить эффективность и степень использования подземных вод в различных отраслях народного хозяйства, усовершенствовать методы поисково-разведочных работ на подземные воды, запрогнозировать возможные последствия при реализации различных народно-хозяйственных проектов и обосновать мероприятия по снижению негативных последствий и др.

Необходимыми научно-организационными мероприятиями для успешного выполнения научных и практических задач гидрогеологии является создание:

в системе АН СССР Института инженерной геологии и гидрогеологии на базе разрозненных и малочисленных гидрогеологических и инженерно-геологических подразделений в существующих институтах АН СССР (ИЛСАН, ИВПАН, ГИН и др.) и других ведомств;

межотраслевого (АН СССР Мин geo СССР, Госстроя СССР)

опытно-конструкторского бюро и научно-производственного объединения по разработке и серийному выпуску современных полевых и лабораторных технических средств для гидрогеологических наблюдений и исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ареев А.Г. Физические основы фильтрации подземных вод. М.: Недра, 1984. 101 с.
2. Гидрогеология / Под ред. В.М. Шестакова, М.С. Орлова. М.: Изд-во МГУ, 1984. 317 с.
3. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. М.: Недра, 1986. 160 с.
4. Гордеев Д.И. Основные этапы истории отечественной гидрогеологии. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 382 с. (Тр. Лаб. гидрогеол. пробл.; Т. 7).
5. Губкин И.М. Об основных задачах I Всесоюзного гидрогеологического съезда // Водные богатства недр Земли — на службу социалистическому строительству. М.: Л., 1932. Сб. 1. С. 15—20.
6. Киселев П.А., Толстой М.П. О задачах гидрогеологии при изучении водных ресурсов недр Земли // Вод. ресурсы. 1985. N 5. С. 47—51.
7. Ланге О.К., Плотников Н.И. Научное содержание современной гидрогеологии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 96 с.
8. Материалы I Всесоюзной гидрогеологической конференции "Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов". М.: Наука, 1982. Т. 1. 431 с.
9. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения / Под ред. И.К. Гавич. М.: Недра, 1985. 320 с.
10. Основы гидрогеологии. Т. 1. Общая гидрогеология. Новосибирск: Наука, 1980. 231 с.
11. Фролов Н.М. Гидрогеология в системе наук о Земле и ее структура // Вод. ресурсы. 1985. N 3. С. 148—150.
12. Швецов П.Ф., Коноплянцев А.А., Швец В.М. Содержание современной гидрогеологии и пути ее развития // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1973. N 2. С. 56—66.
13. Швецов П.Ф. От начал к основам гидрогеологии // Развитие идей и методов в геологии. М.: Недра, 1986. С. 102—129.

УДК 624.131:556.38:551.345

*В.Т. Трофимов, В.В. Баулин, И.С. Зекцер,
Е.В. Пиннекер, А.С. Хасанов*

Закономерности изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий при интенсивном техногенном воздействии

Геологическая среда как часть окружающей среды. Взаимодействие человека с природой — процесс постоянный, противоречивый, исторически длительный. На современном этапе развития общества человек, овладевая силами природы, резко изменил жизненные условия, освоил такие районы Земли, которые ранее в сферу инженерно-хозяйственной деятельности совершенно не вовлекались. Обводнение пустынных областей существенно улучшило условия жизни людей в аридных зонах, мелиоративные работы во влажных тропиках позволили резко сократить свирепствующую там малярию, в умеренном

поясе — повысить урожайность сельскохозяйственных угодий. Овлаждение новыми видами энергии позволило изменить топливно-энергетический баланс, без чего немыслимо представить дальнейшее существование и развитие человеческого общества.

Однако интенсивное вмешательство человека в природную обстановку привело к возникновению не только положительных сдвигов, но и отрицательных последствий. За последние десятилетия произошло не только огромное по объему увеличение производства, но и создание новых материалов и отходов производства, ранее не существовавших в природе и часто чуждых ей по своим физико-химическим особенностям. К некоторым из них все живое на Земле и сам человек оказались эволюционно не подготовленными. Это прежде всего новые химические вещества, новые виды энергии, различные физические излучения. Проблема создания здоровой окружающей человека среды стала в этих условиях такой же жизненно важной глобальной проблемой, как и обеспечение человечества продуктами питания и энергией.

Под окружающей средой принято понимать систему взаимосвязанных природных и антропогенных объектов, в которых протекает труд, быт и отдых людей. Это понятие включает природные, социальные и искусственно создаваемые, различные по масштабам и назначению явления, прямо или косвенно воздействующие на жизнь и деятельность человека.

Природная среда — важнейшая составляющая окружающей среды — включает атмосферу, гидросферу, литосферу и биоту. Литосфера является минеральной основой биосферы, под которой, по В.И. Вернадскому, понимают область существования живого вещества. Все элементы литосферы — горные породы и почвы, морфологические особенности слагаемых ими массивов, подземные воды, геологические процессы — взаимосвязаны с атмосферой, поверхностными водами, растительным миром и другими элементами природной среды. Вследствие этого природные и антропогенные (техногенные) геологические процессы, протекающие в верхней части разреза литосферы и имеющие во многих случаях необратимый характер, оказывают активное и часто очень существенное по величине влияние практически на все элементы природной среды, биосферы в целом.

Та часть литосферы, которая непосредственно выступает как минеральная основа биосферы, как один из компонентов окружающей среды, в настоящее время выделяется под названием "геологическая среда". Последняя представляет собой многокомпонентную динамическую систему, находящуюся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека и, в свою очередь, определяющую эту деятельность [5, 13, 14]. Этот термин отражает специфику верхних горизонтов литосферы как среды жизни и деятельности человека.

Понятие "геологическая среда", как показал Е.М. Сергеев [13], не укладывается в рамки только одной геологической науки. Оно тесно связано со спецификой развития человеческого общества — взаимодействием литосферы как части природы и общества, взаимо-

проникновением естественного и социального. Геологическая среда в своем развитии подчиняется законам природы и общества. Это дало основание рассматривать геологическую среду как явление естественно-социальное (как и окружающую среду).

Геологическая среда до недавнего времени рассматривалась как консервативный компонент окружающей среды. Однако на современном этапе развития производительных сил проблема рационального использования и охраны геологической среды, в частности гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий ее, встала очень остро. Это обусловлено тем, что воздействие, оказываемое на нее человечеством в процессе хозяйственной деятельности, по масштабам и интенсивности сопоставимо, а в целом ряде интенсивно развитых районов земного шара превосходит совокупное воздействие природных геологических процессов. Человек, как и предвидел В.И. Вернадский, стал крупнейшей геологической силой. Он оказывает на геологическую среду столь же большое влияние, как на атмосферу, поверхностные воды и растительный мир.

Типы воздействия на геологическую среду. Подавляющая часть воздействий, оказываемых человечеством в процессе инженерно-хозяйственной деятельности на геологическую среду, относится к категории целенаправленных [8, 14]. Под этим типом воздействий понимается весь комплекс сознательно осуществляемых в пределах геологической среды мероприятий, необходимых для строительства, функционирования и развития инженерных сооружений и их комплексов или направленных на улучшение природной обстановки (ликвидация или сокращение разрушающей деятельности геологических процессов, восполнение запасов подземных вод и т.п.), а также антропогенных ландшафтов (проведение рекультивационных работ и др.). К их числу относятся, например, разработка месторождений любых полезных ископаемых, горно-разведочных работ, связанных с поиском и разведкой подземных вод, с изысканиями и строительством инженерных сооружений разных типов, изменение динамики естественного развития экзогенных геологических процессов с помощью системы регулирующих или защитных мероприятий и т.п. Эти воздействия на геологическую среду необходимы для развития человеческого общества. Они заранее планируются. Затем разрабатывается проект их реализации с учетом данных инженерно-геологических изысканий. Они обычно контролируются как в процессе осуществления проектов, так и на стадии эксплуатации инженерных сооружений.

Вторым типом воздействий являются так называемые (по Ф.В. Котлову) воздействия стихийные (непроизвольные), носящие характер последствия, последствия или резонанса осуществления целенаправленных воздействий, нередко произведенных на значительном удалении от мест возникновения первых. Например, откачка подземных вод для водоснабжения населенных пунктов или обеспечения работы горнорудного предприятия, осуществляемая как воздействие целенаправленное, оказывает стихийное воздействие часто на очень большой площади на всю осушаемую толщу горных пород, нередко

сопровождаемое существенными изменениями состояния и физико-механических свойств этих пород, особенно высокодисперсных их разностей.

По своей природе целенаправленные воздействия на геологическую среду могут быть механическими, физическими, химическими и даже биологическими (например, загрязнение микроорганизмами). Прямые воздействия осуществляются путем непосредственного влияния на геологическую среду, косвенные — путем изменения условий на ее поверхности (например, снежно-растительного покрова). По характеру приложения воздействия подразделяются на статические и динамические, во времени — на длительные и краткосрочные, по глубине — на приповерхностные и глубинные, по площади — на точечные и площадные.

Типы последствий техногенных воздействий на геологическую среду. В результате техногенных воздействий на геологическую среду возникает целый комплекс антропогенных (техногенных) геологических процессов, вызывающих ее изменение. Одни из них являются неизбежными: процессы этого типа возникают при данном типе воздействия как закономерное следствие, избежать их совершенно невозможно. Другие процессы возникают как сопутствующие; они составляют второй тип последствий техногенного воздействия на геологическую среду [5, 8, 14].

Оба этих типа последствий могут быть как обратимыми, так и необратимыми. Последние приводят к наиболее существенным необратимым изменениям в геологической среде. Они являются односторонними, как правило, наиболее глубокими, влияющими на состояние всей природной среды в целом.

Обратимые и необратимые геологические процессы выступают в качестве видов последствий техногенного воздействия на геологическую среду. В этом же ранге мы можем рассматривать процессы наземные—подземные, площадные—точечные, длительно действующие—краткосрочные, проявленные—скрытые. К последним обычно относят такие процессы и их последствия, которые не выражаются в настоящее время в рельефе, а локализуются в толще горных пород. Их проявление возможно на более поздних этапах жизни массива при сохранении данного воздействия на него [8, 14].

Гидрогеологические, инженерно-геологические и геокриологические условия — важнейшие особенности геологической среды. Геологическая среда, как отмечалось выше, — система многокомпонентная. Главнейший ее компонент — горные породы, рассматриваемые как грунты. Они слагают массивы, содержащие не только твердый минеральный и органический компоненты, но и газы, подземные воды и макро- и микроорганизмы. Состояние горных пород и фазовый состав воды могут быть различными: геологическая среда может быть сложена как талыми и немерзлыми, так и многолетнемерзлыми толщами. Геологическая среда включает, кроме того, и различные объекты, созданные в пределах литосферы человеком и рассматриваемые как антропогенные геологические образования. Все эти компоненты — составляющие природно-технической системы,

находящиеся в тесном взаимодействии и определяющие ее состояние и закономерности развития.

Геологическая среда — динамичная, развивающаяся система. Воздействие человека приводит к изменению хода природных геологических процессов, обуславливает возникновение новых антропогенных геологических процессов, которые, как правило, протекают с большой скоростью и вызывают закономерные изменения состава, состояния и свойств геологической среды.

Геологическая среда как многокомпонентная, динамичная система характеризуется разнообразными особенностями и является объектом изучения многих геологических дисциплин. Однако наиболее важными из них являются параметры, характеризующие ее состав, строение и динамику развития. Их совокупность определяет так называемые гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Именно они в наибольшей степени из всех геологических параметров влияют на условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений, всей инженерно-хозяйственной деятельности человека. Именно они наиболее активно изменяются под влиянием этой деятельности и обуславливают динамику развития геологической среды. Именно поэтому гидрогеологические и инженерно-геологические условия, а для территории криолитозоны и геокриологические условия должны рассматриваться как главнейшие особенности геологической среды.

Общие закономерности изменения гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий в районах интенсивного техногенного воздействия. Изменение гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий происходит при всех видах инженерно-хозяйственной деятельности человека. Они наиболее глубоки и нередко имеют негативные последствия в районах интенсивного техногенного воздействия. К их числу относятся в первую очередь территории городов и городских агломераций, районы разработки месторождений полезных ископаемых, включая крупные водозаборы подземных вод, районы строительства и эксплуатации гидроэнергетических и мелиоративных комплексов, атомных электростанций [3—5, 8, 12, 14].

Характер и интенсивность изменения рассматриваемых особенностей геологической среды при техногенном воздействии зависит прежде всего от: 1) состава, строения и свойств геологической среды; 2) типов и источников техногенного воздействия; 3) масштабов и интенсивности этого воздействия. Кроме того, существенное значение имеет современная физико-географическая обстановка, во многом влияющая на состояние и свойства верхних горизонтов геологической среды. Под влиянием этих факторов изменения гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий могут быть качественными и количественными, локальными и региональными, временными и постоянными, приповерхностными и глубинными.

Производственная деятельность, как правило, особенно контрастно проявляется в изменении гидрогеологических условий, поскольку подземные воды — один из наиболее подвижных компо-

нентов геологической среды. Техногенное воздействие на гидрологические условия может быть вызвано: 1) изъятием вещества — твердого, жидкого и газообразного; 2) привносом вещества, в основном водных растворов; 3) сочетанием привноса и изъятия вещества [11, 12].

Изъятие вещества из литосферы связано с добычей полезных ископаемых. Уже в начале 80-х годов только в СССР из недр извлекалось около 15 млрд т горных пород и примерно в 4—5 раз больше подземных вод [9]. Такое большое по объему извлечение оказывает огромное влияние на гидрогеологические условия, в частности нарушает режим и баланс отдельных водоносных горизонтов. Особенно велика его роль при эксплуатации подземных вод системой крупных водозаборов, при осушении подземных и открытых горных выработок, при добыче полезных ископаемых, осушении заболоченных территорий и др.

Эксплуатация подземных вод нарушает прежде всего режим и баланс отдельных водоносных горизонтов и условия их взаимосвязи. Наиболее крупные депрессионные воронки с понижениями в центре водозабора до 80—100 м и более и радиусом, превышающим 100 км, образуются при эксплуатации глубоких напорных водоносных горизонтов артезианских бассейнов, где основную роль в формировании дебита водозабора играют упругие запасы (Московский, Днепровско-Донецкий, Прибалтийский артезианские бассейны). Значительно меньшими размерами характеризуются депрессионные воронки, возникающие при эксплуатации неглубоко залегающих водоносных горизонтов, хорошо связанных с поверхностными водами или водами смежных водоносных горизонтов. Снижение уровней грунтовых вод под влиянием эксплуатации меняет величину, а иногда и знак инфильтрационного питания подземных вод, что приводит к изменению баланса эксплуатируемого и связанного с ним водоносного горизонта. В районах интенсивного отбора подземных вод отмечается сокращение областей питания подземных вод, уменьшение разгрузки подземных вод в реки, исчезновение родников, изменение направлений подземных вод [7]. Так, при эксплуатации может происходить подтягивание соленых и некондиционных вод из смежных водоносных горизонтов, а при эксплуатации подземных вод на морских побережьях (Прибалтика, Дальний Восток) — интрузия соленых вод в берега, что отрицательно сказывается на качестве вод эксплуатируемого водозабора.

Во многом аналогичные по своему характеру изменения естественных гидрогеологических условий наблюдаются при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. При этом в результате водоотлива из горных выработок и работы дренажных систем происходит региональное снижение уровней подземных вод, истощение запасов подземных вод, активизация суффозионных и карстовых процессов, что в ряде случаев приводит к увеличению водопритоков в горные выработки, осушение корнеобитаемого слоя, развитие явлений оседания земной поверхности. Эти процессы более подробно характеризуются в специальных докладах.

Привнос вещества в подземную гидросферу может происходить при орошении земель, эксплуатации ирригационных и транспортных каналов, водохранилищ, хвостохранилищ, вследствие утечек из водопроводов, канализационных сетей и др. Особенно значительные изменения гидрогеологических условий при этом происходят под влиянием гидротехнического строительства и мелиорации земель. Создание водохранилищ, использование поверхностных вод для орошения, сооружение каналов и другие водохозяйственные мероприятия существенно отражаются на ресурсах и качестве подземных вод. Это влияние является неоднозначным как по направленности процесса, так и по результатам. Так, создание водохранилищ, с одной стороны, обычно улучшает условия восполнения запасов подземных вод, приводит к увеличению мощностей водоносных горизонтов и приуроченных к ним эксплуатационных запасов подземных вод, а с другой стороны, в результате регулирования и снижения паводков на реке ухудшает условия восполнения подземных вод в период половодий на участках ниже водохранилища. В некоторых районах в период заполнения водохранилища возможно ухудшение качества подземных вод за счет фильтрации в них загрязненных поверхностных вод.

Самыми известными и распространенными видами изменений гидрогеологических условий территорий под влиянием гидротехнического и ирригационного строительства являются формирование подпора подземных вод и подтопление земель, обусловленные фильтрационными потерями из каналов и водохранилищ. Имеющиеся данные наблюдений свидетельствуют о том, что изменения гидрогеологических условий по берегам водохранилищ происходят на обширных территориях и часто вызывают значительные негативные последствия, к которым в первую очередь следует отнести затопление и подтопление земель.

Масштаб изменений гидрогеологических условий (величина подъема уровня грунтовых вод, изменения их качества, размеры зон подпора грунтовых вод и подтопления прилегающей территории) под влиянием сооружений водохранилищ, каналов и оросительной сети определяется прежде всего геологическим строением района строительства гидротехнического сооружения и прилегающей территории (в первую очередь фильтрационными свойствами водовмещающих и перекрывающих пород), а также особенностями конструкции самих сооружений и режима их работы. На большинстве водохранилищ на Волге установившийся режим подземных вод в зоне влияния водохранилищ сформировался через 5—10 лет, а подпор грунтовых вод распространился на расстояние до 10—15 км (за исключением зоны влияния Каховского водохранилища). Ежегодные сезонные колебания уровня воды в водохранилище на 2—3 м оказываются на режиме уровней грунтовых вод, содержащихся в песках и супесях, на расстоянии до 300—700 м, а содержащихся в суглинках — на расстоянии до 150—250 м от уреза водохранилища.

Сочетание одновременных привноса и изъятия вещества подземной гидросферы — явление широко распространенное. Типичными могут

считаться наблюдаемые в городах процессы, когда отбор подземных вод сопровождается утечками из водопроводов и фильтрацией сточных вод; таковыми же будут систематическое осушение и периодический полив мелиорируемых земель. Нарушения естественного режима подземных вод в районах нефтяных месторождений также обусловлены одновременными откачкой нефти и пластовых вод и закачкой поверхностных вод в целях отжатия нефти. При этом происходят изменения пластовых давлений, а также химического и микробиологического состава подземных вод [3].

Таким образом, изменения гидрогеологических условий при техногенных воздействиях достаточно многоплановы. Главнейшими из них являются загрязнение и истощение ресурсов подземных вод.

Загрязнение подземных вод — качественное их изменение, вызванное химическим, биологическим, радиоактивным или тепловым воздействием. В зависимости от вида и источника производственной деятельности человека различают следующие загрязнения: 1) промышленное — обязано сточным водам различных отраслей промышленности; 2) сельскохозяйственное — от внесения в почву удобрений и ядохимикатов; 3) коммунально-бытовое — вследствие сброса нечистот в пределах населенных пунктов; 4) за счет внедрения морских или глубоких соленых вод; 5) в результате ядерных взрывов [10].

Все виды загрязнений опасны. По интенсивности и масштабам воздействия на подземную гидросферу наиболее действенным, пожалуй, является промышленное загрязнение, в частности сточные воды химических, нефтеперерабатывающих, целлюлозно-бумажных и атомно-энергетических производств. Оно большей частью имеет локальный характер, но местами из временного становится постоянным и проникает на значительную глубину (до 3—4 км). Стремясь обезопасить поверхностные воды, на ряде предприятий прибегают к сбросу в подземные резервуары наиболее ядовитых стоков, не поддающихся очистке. Очень вредны ртуть и свинец, а из радиоактивных веществ — стронций-90. Все это, несмотря на жесткие защитные мероприятия, постепенно приводит к загрязнению геологической среды, поскольку объемы вырабатываемых промышленных стоков растут, как известно, очень быстро.

Опасность промышленного загрязнения заключается в прогрессирующем росте вырабатываемых промстоков, увеличении и усложнении числа загрязнителей. Если в первые послевоенные годы их нормировалось чуть больше десятка, то теперь — несколько сотен. Ничтожные количества некоторых загрязнителей, в частности радиоактивных, делают непригодными к употреблению громадные резервуары подземных и поверхностных вод.

Прогрессируют сельскохозяйственные и коммунально-бытовые загрязнения. Эти виды затрагивают преимущественно верхние горизонты, но зато отличаются площадным характером: ими поражены обширные земельные массивы и городские агломерации. Так, загрязнением охвачены целиком площади крупных городов нередко на глубину до 50—100 м [8, 9, 12].

Конечно, геологическая среда загрязняется не столь интенсивно,

как поверхностные воды. Но, как показывает борьба с загрязнителями, если загрязнение попало в подземные резервуары, то избавиться от него бывает гораздо труднее, чем от загрязнения рек, озер, морей.

Поскольку загрязнители в недра земли обычно попадают сверху и в растворенном состоянии, наиболее типичен такой путь их миграции и изменения в геологической среде: 1) проникновение через зону аэрации в водоносный горизонт; 2) перенос с подземными водами; 3) сорбция и физико-химическое взаимодействие с вмещающими породами.

Зона аэрации играет очень большую роль в поглощении загрязнителей. В случае мощного почвенно-растительного слоя или суглинков уже первые 15—30 см задерживают их до 90% и более. Однако в кристаллических, галечно-песчаных и даже карбонатных породах эффект самоочищения незначителен. Точно так же происходит сорбция во вмещающих толщах. Имеется много сложных загрязнителей, которые не сорбируются вовсе и способны накапливаться в подземных водах. Достаточно надежной преградой при наземном радиоактивном заражении является зона аэрации, сложенная песчано-глинистыми отложениями и имеющая мощность более 2—5 м [1].

Истощение запасов подземных вод — результат количественных изменений, вызванный главным образом водоотбором из земных недр в количествах, превышающих восполнение их ресурсов. Большой частью водоотбор, который приводит к истощению ресурсов подземных вод и снижению их уровня, связан с водоснабжением городов и промышленных центров. Глубина депрессионных воронок составляет в Лондоне — 100 м, Киеве — 65 м, Москве — около 50 м и т.д.

Нередко истощение — причина вынужденная, и человек идет на это сознательно, когда забор воды, скажем, имеет целью осушение месторождений полезных ископаемых или водопонижение для сооружения подземных коммуникаций. Так, на железнодорожных месторождениях Курской магнитной аномалии, где эксплуатация ведется на глубинах более 400 м, полностью осушены водоносные горизонты, перекрывающие рудную залежь. На нефтегазовых месторождениях нередко извлекаются трудно возобновляемые термы и рассолы. При различных видах строительства приходится осушать котлованы с откачкой громадных количеств воды. На некоторых месторождениях и вокруг протяженных тоннелей из земных недр извлекаются целые реки. Естественным путем такие потери уже не могут восстанавливаться. Они являются невосполнимыми. И без этого не обойтись! Иначе нельзя вести добычу полезных ископаемых и возводить подземные сооружения.

Однако во многих случаях истощение происходит вследствие недостаточного знания гидрогеологической ситуации, сочетающегося с хищнической эксплуатацией подземных вод. Вероятно, уместен пример эксплуатации водозаборных колодцев на Западе США: из-за работы на "износ" здесь перестали фонтанировать или вообще иссякли тысячи скважин. Штат Аризона, где водоснабжение

и орошение целиком обязаны подземным водам, стоит перед настоящей катастрофой, на 100 м и более снизился уровень в основном подземном резервуаре Огалла, протянувшемся от Небраски до Техаса. В приморских районах из-за истощения водоносных горизонтов происходит интрузия соленых морских вод. Аналогичные примеры можно привести и по другим странам.

Необходимо подчеркнуть, что водоотбор из подземных резервуаров не всегда имеет отрицательные последствия. Вспомним хотя бы осушение переувлажненных земель, в частности Колхида. Тут некогда кишащая комарами болотистая территория была превращена буквально в цветущий сад.

Последствия техногенных изменений гидрологических условий многообразны. Они проявляются не только в недрах земли, но и в природной среде в целом. Образование солонцов и солончаков, снижение водности рек, наступление пустынь или, наоборот, заболачивание территории — тому наглядные примеры.

Особо необходимо подчеркнуть, что поступающие в верхние горизонты литосферы различного рода сточные воды, часто загрязняющие вследствие повышенной минерализации и наличия нежелательных компонентов подземные воды, вызывают активизацию геохимических, геотермических, геодинамических и инженерно-геологических процессов. Они, в свою очередь, обусловливают дальнейшие изменения геологической среды.

Геохимическая роль закачиваемых вод выражается в выщелачивании пород, формировании минеральных новообразований и иной, чем в ненарушенном (естественном) состоянии, окислительно-восстановительной обстановки. В площадном плане весьма ощутимы гидрогеохимические ореолы рассеяния от сельскохозяйственных удобренений и ядохимикатов, а также фильтрационные потоки из нефтеили хвостохранилищ. Наоборот, положительным геохимическим последствием следует считать линзы пресных подземных вод, образующихся под ирригационными каналами.

Геотермическая роль фильтрующихся сточных вод заключается в изменении температурных условий в результате внедрения в толщу горных пород вод с иной температурой. Наиболее значительны последствия подобного эффекта в районах с многолетнемерзлыми породами. Но и за пределами криолитозоны он ощутим. Так, в значительной мере с влиянием фильтрации сточных вод связано образование геотермической аномалии вокруг Москвы с повышением температуры на 3—5°С по сравнению с фоновой.

Закачка вод через скважины в толщу горных пород вызывает такие геодинамические эффекты, как гидродинамический разрыв (например, в результате заводнения пластов на нефтепромыслах) и разрядка сейсмических очагов (появление так называемых вызванных землетрясений).

Прогрессирующий водоотбор из земных недр имеет и, казалось бы, вовсе неожиданные геологические последствия. По расчетам И.Г. Киссина [6], откачиваемые подземные воды обеспечивают 20% ежегодного повышения уровня в Мировом океане.

Изменение инженерно-геологических условий в районах интенсивного техногенного воздействия также обусловлено целым рядом причин. Главными из них являются техногенные нарушения: 1) водного баланса территории; 2) теплового баланса ее; 3) напряженно-деформированного состояния толщ горных пород.

Нарушение водного баланса территории приводит, как известно, к изменениям поверхности гидросферы и главное — гидрологических условий. Трансформация последних имеет, как уже отмечалось, глубокие инженерно-геологические последствия. В частности, хорошо известно, что интенсивная откачка подземных вод, сопровождаемая значительным снижением уровня подземных вод и изменением гидродинамической обстановки, в ряде районов приводит к оседанию поверхности земли и активизации суффозионных процессов, в том числе и в закарстованных массивах.

Явление оседания земной поверхности, формирующееся под влиянием крупного водоотбора, а также эксплуатации нефти и газа, известно и изучается во многих странах (СССР, Мексика, Япония, США, Нидерланды, Италия и др.). Оседание земной поверхности вызывается изменениями состояния и свойств водовмещающих и разделяющих пород, а также гидростатического давления на них. Наиболее широко распространены также деформации на тех территориях, где подземные воды заключены в хорошо проникаемых песчано-глинистых породах с небольшой сжимаемостью, которые переслаиваются с глинистыми слабопроницаемыми, но хорошо сжимаемыми отложениями вследствие возможности протекания в них процессов осадки и усадки. При откачке снижается напор подземных вод, что увеличивает эффективное давление на скелет грунта и приводит к уплотнению сжимаемых отложений, а как следствие — к оседанию земной поверхности. Оседание земной поверхности в ряде районов (штат Калифорния (США), города Мехико, Токио, Сан-Франциско и др.) достигло нескольких метров (8,5 м в г. Мехико) при скорости оседания, измеряемой в отдельные периоды десятками сантиметров в год. При этом площади оседания земной поверхности достигают сотен и тысяч квадратных километров. В Токио по этой причине деформируются тюбинги метрополитена. Угроза быть затопленной морем нависла над Венецией — это случится, если не прекратится осушение водоносных горизонтов, находящихся под городом.

В СССР наиболее известно проседание земной поверхности в г. Таллине, вызванное откачкой подземных вод. Здесь оседание земной поверхности в центральной части депрессионной воронки с начала века достигло 60 см [5]. До середины 60-х годов темпы снижения земной поверхности составили 27—36 мм в год, а затем уменьшились до 4—5 мм/год. При этом установлена зависимость интенсивности оседания от колебаний уровней подземных вод кембрийско-венденского водоносного комплекса и подземных вод флювиогляциальных отложений, вызванных неравномерностью водоотбора: при стабилизации или кратковременном повышении уровня подземных вод оседание замедляется, а при понижении — увеличивается.

При продолжительной и интенсивной откачке напорных вод карбонатных отложений происходит значительное увеличение фильтрации и изменение состояния и свойств рыхлого заполнителя карстовых полостей, что приводит к развитию супфозионных процессов в закарстованном массиве. В результате на поверхности земли образуются понижения (иногда проявляющиеся как провалы) диаметром до 100 м и более и глубиной до 2 м и более. Оседания земной поверхности и провалы часто приводят к негативным последствиям, вызывая подтопление и заболачивание территорий, деформацию автотрасс и железнодорожного полотна, водопроводных труб и других коммуникаций, изменения уклонов русел рек, деформацию зданий и сооружений. На урбанизированных территориях влияние техногенных факторов усиливает развитие карстовых и супфозионных процессов. Под влиянием интенсивного водоотбора формируются температурные и гидрохимические аномалии в подземных водах, обусловленные вовлечением в воронку депрессии грунтовых, речных и техногенных вод, часто высокоагрессивных, имеющих иной химический состав и температуру по сравнению с водами эксплуатируемого водоносного горизонта [7, 8].

Столь же контрастны изменения инженерно-геологических условий, обусловленные повышением уровня подземных вод и обводнением грунтов. Этим обусловлено подтопление территорий, особенно ярко выраженное в границах многих городов, заболачивание местности в их пределах и на орошаемых массивах, засоление грунтов на больших их площадях, снижение прочностных и деформационных свойств грунтов, их набухание и связанные с ними поднятие поверхности грунтовых массивов и многочисленные деформации инженерных сооружений (например, в городах Волгоград, Днепропетровск, Керчь, Киев, Краснодар, Новочеркасск, Элиста и др.). Увеличение влажности грунтов, обусловленное повышением уровня подземных вод, часто вызывает развитие склоновых процессов — оплывин и оползней крупного размера. К особо большим негативным последствиям приводят деформации сооружений, обусловленные реализацией просадочных свойств лёссовых грунтов при их увлажнении. Величина опускания земной поверхности при этом может достигать 2—3 м. Особенно большие их величины наблюдаются в Средней Азии (Ташкентская агломерация, район Самарканда), Предкавказье, в низовьях бассейнов Дона и Днепра.

Изменение инженерно-геологических условий связано и с изменением поверхностной гидросферы в районах интенсивного техногенного воздействия. Так, лишь нарушение поверхностного стока может привести к развитию или активизации эрозионных процессов, заболачиванию территории, развитию оползней, селей. Создание водохранилищ и прудов вызывает затопление и подтопление прилегающей к нему территории, связанное с этим изменение состояния и, как правило, ухудшение свойств грунтов, катастрофические просадки в лёссовых толщах. Как неизбежный процесс происходит переформирование берегов водохранилищ, сопровождаемое развитием обвалов, осыпей и особенно оползней.

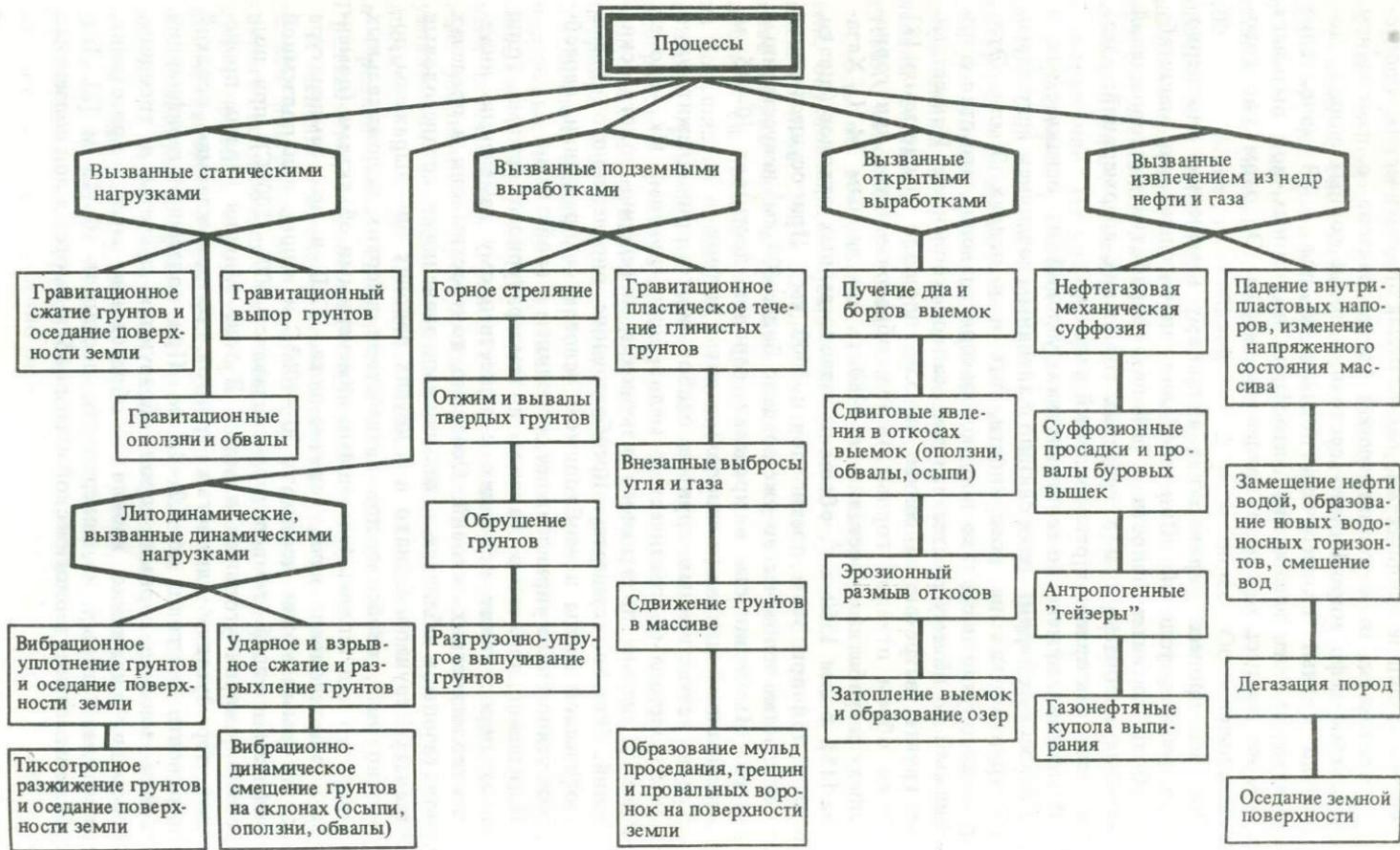
Очень большое количество техногенных геологических процессов, протекающих в геологической среде, связано с изменением напряженно-деформированного состояния толщ горных пород. Достаточно полный их перечень показан на рис. 1. В дополнение добавим, что извлечение из литосферы подземных вод вызывает такие же процессы, как и извлечение нефти. Об этом уже говорилось выше.

Все эти процессы приводят к активному изменению инженерно-геологических условий. Они особенно значительны по масштабу и глубоки по интенсивности в районах разработки месторождений полезных ископаемых и в пределах городских агломераций; здесь они носят, как правило, региональный характер.

Изменение инженерно-геологических условий на осваиваемых и уже освоенных территориях связано с активным созданием искусственных грунтов как на поверхности, так и в недрах Земли. Этот процесс получил настолько широкое распространение, что стал сопоставимым по объему с естественным осадконакоплением. Искусственные грунты встречаются сейчас на 55% площади суши земли [8]. Только объем отвалов горных пород, образовавшихся при горнорудных разработках, составил к 1980 г., по данным М.И. Хазанова [15], более 1550 км³, объем производственных отходов (шлаки, золы и др.) при этом достиг почти 1600 км³. При осуществлении строительства человечество уже создало более 600 км³ искусственных грунтов. Их мощность в пределах городов достигает 10—45 м, а в засыпанных шахтах (и отвалах) — сотни метров.

Среди искусственных грунтов особое место принадлежит улучшенным методами технической мелиорации грунтам. Их человек создает с целью позитивного изменения инженерно-геологических условий. Это, по существу, преобразование определенного объема геологической среды в необходимом человеку направлении, своеобразное техногенное управление ее состоянием и свойствами.

Нарушение теплового баланса и температурного режима толщ горных пород также приводит к существенному изменению инженерно-геологических условий. Особенно контрастны они в пределах криолитозоны и областях с невысокими значениями среднегодовых температур грунтов. Однако и в других районах они выражены достаточно ясно, особенно при воздействии высоких положительных температур под тепловыделяющими инженерными объектами (доменные и мартеновские печи, горячие цеха, ТЭЦ и др., температура под которыми может достигать 30—100°C и выше), при подземной газификации углей (температура составляет 600—1500°C), при подземных пожарах угольных пластов. В зоне влияния первых происходит термоусадка глинистых грунтов, сопровождаемая осадкой поверхности их толщ до 0,2—0,3 м. При подземной газификации углей в массиве горных пород образуются пустоты и трещины, происходит сдвижение кровли и образование мульд проседания, амплитуда которых на поверхности достигает 10—15 м [8]. Подобные изменения геологической среды наблюдаются и при подземных пожарах.



Таким образом, изменения инженерно-геологических условий при техногенных воздействиях еще более многоплановы по сравнению с трансформацией гидрогеологической обстановки. Главнейшими из них являются изменение состава, состояния и свойств природных грунтов под влиянием техногенного воздействия, создание огромных по объему массивов искусственных грунтов, развитие антропогенных геологических процессов, часть из которых четко выражается в рельефе, а другая фиксируется только в изменении грунтовых толщ. Большая часть этих изменений имеет негативный характер. Особенно контрастны они в районах с антропогенно нарушенным режимом подземных и поверхностных вод, напряженно-деформированного состояния массивов пород, их температурного режима. Многие из этих процессов создают осложнения при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений и требуют осуществления нередко дорогостоящих мероприятий, позволяющих управлять развитием этих процессов.

Изменения геокриологических условий в районах интенсивного техногенного воздействия также становятся многоплановыми и происходят на все большей и большей площади. Главной причиной их формирования является изменение термического режима толщ горных пород вследствие нарушения условий теплообмена на их поверхности или в массиве пород [2]. Эти нарушения приводят к повышению или понижению температуры горных пород и соответственно к регрессивному или прогрессивному развитию многолетнемерзлых толщ, сопровождающему обширным комплексом геокриологических процессов.

Изменение теплообмена на поверхности толщ горных пород происходит в районах интенсивного техногенного воздействия повсеместно. Оно обусловлено уменьшением альбедо снежного покрова вследствие его загрязнения, изменения мощности и плотности снега, характера растительного покрова и рельефа при строительстве и эксплуатации сооружений. К этому же приводят создание, спуск или частичное снижение уровня водоемов, дренирование территории, создание насыпей, искусственных покрытий, сооружений с проветриваемыми подпольями, застройка территории и многие другие виды техногенного воздействия. Многочисленны и причины изменения теплообмена в массиве горных пород: изменение при освоении состава, строения и свойств грунтов, режима надмерзлотных вод, вод таликов, искусственное охлаждение или, наоборот, прогрев толщ пород и др.

Изменения теплообмена под влиянием деятельности человека приводят, как уже отмечалось, к развитию целого комплекса антропогенных геокриологических процессов. В качестве примера приведем перечень основных процессов и их последствий, возникающих при наземном строительстве (табл. 1). Подчеркнем, что наибольшие

Рис. 1. Комплекс техногенных геологических процессов, протекающих в геологической среде при изменении напряженно-деформированного состояния толщ горных пород (по Ф.В. Котлову [8])

Таблица 1

**Основные изменения многолетнемерзлых и талых пород под влиянием техногенных воздействий при наземном строительстве
(по Л.С. Гарагуле [2])**

Процесс	Изменения состояния пород и параметров многолетнемерзлых толщ и геокриологических процессов
Изменение температурного режима пород (среднегодовой температуры и амплитуды колебаний температуры на поверхности)	<p>Повышение среднегодовой температуры пород и переход в более высокотемпературную градацию многолетнемерзлых пород</p> <p>Понижение среднегодовой температуры пород и переход в более низкотемпературную градацию многолетнемерзлых пород</p> <p>Повышение (понижение) среднегодовой температуры и переход ее через 0°C</p> <p>Увеличение амплитуды</p> <p>Уменьшение амплитуды</p>
Изменение глубины сезонного оттаивания и промерзания пород	<p>Увеличение глубины сезонного промерзания</p> <p>Уменьшение глубины сезонного промерзания</p> <p>Увеличение глубины сезонного промерзания</p> <p>Уменьшение глубины сезонного промерзания</p> <p>Образование несливающейся мерзлоты</p> <p>Образование перелетков</p>
Многолетнее оттаивание пород	<p>Частичное оттаивание многолетнемерзлых толщ с образованием несквозных таликов</p> <p>Полное оттаивание многолетнемерзлой толщи и образование сквозных таликов</p>
Новообразование многолетнемерзлых толщ	<p>Новообразование многолетнемерзлых толщ на месте немерзлых и талых в пределах сквозных таликов и талых зон</p> <p>Новообразование многолетнемерзлых толщ в пределах несквозных таликов</p>
Изменение физико-механических свойств пород	<p>Уменьшение прочности мерзлых пород в связи с повышением их среднегодовой температуры</p> <p>Уменьшение прочности пород вследствие их оттаивания</p> <p>Развитие тепловых осадок в связи с оттаиванием пород</p> <p>Увеличение прочности мерзлых пород в связи с понижением их среднегодовой температуры</p> <p>Увеличение прочности пород в связи с их промерзанием</p> <p>Изменение прочности грунтов в связи с изменением их состава, льдистости и криогенного строения</p>
Изменение характера развития геокриологических процессов	<p>Активизация процессов, которые были развиты в естественных условиях</p> <p>Затухание процессов, которые были развиты в естественных условиях</p> <p>Возникновение новых антропогенных геокриологических процессов</p>

изменения геокриологических условий связаны с развитием процессов промерзания и пучения грунтов, их морозобойного растрескивания, термоэрозии, термоабразии и особенно термокарста.

Даже эти краткие сведения свидетельствуют о том, что изменения геокриологических условий под влиянием техногенных факторов весьма значительны и многоплановы. Главными из них являются: 1) изменение состава и свойств многолетнемерзлых пород при нарушении их естественного температурного режима; 2) развитие антропогенных геокриологических процессов, особенно деградации и новообразования многолетнемерзлых толщ.

Необходимо подчеркнуть, что техногенные изменения гидрографических, инженерно-геологических и геокриологических условий тесно связаны между собой. И если последние приурочены только к площади криолитозоны, то изменения гидрографических и инженерно-геологических условий наблюдаются на существенно большей территории в пределах практически всех континентов Земли. Все эти изменения наряду с общими особенностями имеют частные, специфические черты проявления, зависящие как от вида и интенсивности техногенного воздействия, связанного с конкретным видом инженерно-хозяйственной деятельности*, так и от свойств геологической среды и характера физико-географических условий, в которых осуществляется техногенное воздействие. Особенно специфичны изменения, наблюдаемые в области распространения многолетнемерзлых пород гумидной зоны и в аридной зоне. Кратко рассмотрим этот вопрос.

Особенности изменения гидрографических, инженерно-геологических и геокриологических условий области распространения многолетнемерзлых пород гумидной зоны при интенсивных техногенных воздействиях. В пределах СССР область распространения многолетнемерзлых пород занимает почти половину его территории и около 25% площади суши земли. Геологическая среда этой обширной территории, как известно [2, 8, 9, 14], ранима, особенно легко в области распространения высокольдистых и высокотемпературных мерзлых пород. Техногенное воздействие раньше и сильнее всего оказывается на геокриологических и гидрографических особенностях верхних горизонтов криолитозоны. В южной ее половине нередко даже след тракторных гусениц на поверхности мерзлых пород образует, в сущности, "неизлечимую рану", которая вследствие увеличения глубины пропаивания постепенно превращается в канал для проникновения поверхностных вод, а следовательно, и для изменения состояния и загрязнения недр земли.

Вообще, для криолитозоны крайне опасно нарушение и изменение сложившегося водно-термического режима. Начавшись, оно часто продолжается в виде "цепной реакции", вызывая трансформацию естественных гидрографических условий и обу-

* Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при разных видах инженерно-хозяйственной деятельности рассматриваются в последующих статьях настоящего сборника.

словливая изменение, с одной стороны, качества подземных вод (главным образом в результате загрязнения с поверхности), а с другой — их ресурсов и динамики (истощение, изменение путей движения и т.д.). Одновременно эти изменения влияют на состояние геологической и окружающей среды в целом.

Быстрее всего на производственную деятельность человека реагирует сезонноталый и сезонномерзлый слои. В связанном со слоем сезонного протаивания так называемом надмерзлотном водоносном горизонте из-за сезонного промерзания и оттаивания происходит накопление растворенных веществ путем извлечения их из вмещающих пород. Поэтому здесь происходит не столько разбавление сбрасываемых стоков, сколько их концентрирование. Особенно вредно проникновение промышленных и коммунально-бытовых стоков в сезонноталый слой в черте населенных пунктов и промышленных предприятий, где из-за малой мощности и слабого дренажа, что весьма характерно для аллювиальных, озерно-аллювиальных и морских равнин, летом загрязнители постепенно накапливаются. В результате надмерзлотный водоносный горизонт из источника водоснабжения, чем он служит во многих населенных пунктах, превращается в зловонный коллектор. Такая картина характерна, например, для г. Якутска, где минерализация вод местами достигает 35—200 г/л [9].

Сравнительно легко проникают загрязнения по таликам. Будучи каналами интенсивного взаимодействия подземных и поверхностных вод, они из очагов разгрузки подземных вод, каковыми являются летом, превращаются зимой в участки питания подземных резервуаров загрязненными стоками. Нередко при эксплуатации межи подмерзлотных водоносных горизонтов искусственно меняется термодинамическая обстановка, что приводит к нарушению изоляции водоносных горизонтов и смешению пресных подземных вод с минерализованными.

Сохранение естественного водно-термического режима — обязательное условие для защиты подземных вод криолитозоны от истощения. В качестве примера можно сослаться на новообразование наледей при проведении дорожного строительства. Усиление наледеобразования в результате подрезки склонов, прокладки дренажей и т.д. часто приводит к тому, что перехватывается подземный поток, как следствие, перестают функционировать родники или иссякают колодцы, служащие в таких местах единственным источником водоснабжения. На БАМе, например, наледи очень часто появляются вдоль дорожных насыпей, которые, уплотнив грунт основания или подрезав основание склона, тем самым изменили путь фильтрации подземного потока. В некоторых городах на территории криолитозоны техногенное воздействие нередко приводит к коренной перестройке путей движения подземных вод и возникновению многочисленных наледей, которые зимой местами парализуют движение транспорта или разрушают здания.

Наиболее существенное изменение инженерно-геологических условий криолитозоны происходит при оттаивании многолетнемерзлых

пород или промерзании таликов при техногенных воздействиях. Своебразная геотермическая аномалия с образованием обширной талой зоны нередко формируется в основании зданий и сооружений при утечках воды из водопроводных и канализационных систем. В этом случае ухудшается несущая способность грунтов вплоть до полной ее потери и перехода грунта в разжиженное (пльывунное) состояние.

Необходимо подчеркнуть, что в пределах криолитозоны инженерно-геологические условия, по существу, трансформируются в мерзлотно-инженерно-геологические. В соответствии с этим их изменение происходит наиболее активно в основном под влиянием антропогенных геокриологических процессов.

Особенности изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий аридной зоны при интенсивных техногенных воздействиях. Такие воздействия в пределах аридной зоны формируются при различных видах инженерно-хозяйственной деятельности. Наиболее специфичными по особенностям и охватываемой площади являются воздействия, связанные с мелиоративным строительством и земледелием [5, 8, 9]. Они обусловливают региональное преобразование приповерхностных горизонтов литосферы и особенно гидросферы — ее поверхностной и главное — подземной составляющих.

Техногенез мелиоративного профиля усиливает и улучшает водобеспрекращающую функцию гидрогеологических систем, повышает интенсивность водообмена и в этой связи увеличивает интенсивность солеобмена. Последствия таких преобразований довольно неравнозначные и часто противоположные. Так, увеличение объемов воды в гидрогеологических системах и, следовательно, запасов подземных вод — в общем положительное явление. Но с этим положительным эффектом в аридных областях связаны и явления негативные — подтопление территорий, в том числе и застроенных, снижение несущей способности грунтов зоны аэрации, просадки лессовых пород, повышение сульфатной или углекислотной агрессивности подземных вод, засоление грунтов и грунтовых вод, заболачивание отрицательных форм рельефа.

Непосредственно с техногенезом мелиоративного профиля связано формирование "ирригационного рельефа", развитие линейной и боковой эрозии на каналах и коллекторах, террасирование их бортов. С водохранилищами и концевыми участками крупных магистральных коллекторов связано затопление территорий, и за счет развития подпора от затопления формируется своя зона подтопления.

Химизация земледелия, формирование и функционирование городских агломераций, промышленных и горнорудных комплексов обуславливает прогрессирующее загрязнение подземных и поверхностных вод различными, часто вредными химическими ингредиентами. Эти виды воздействия в совокупности с мелиоративным земледелием обусловливают засоление указанных типов вод. В связи с этим территории с ограниченными ресурсами пресных подземных вод, подверженные прогрессирующему техногенному ухудшению качества воды в источниках восполнения, характеризуются предельной напряжен-

ностью водохозяйственного баланса. К таким территориям относятся низовья долин рек Амударьи, Сырдарьи, Заравшана и других, где сохраняется устойчивая тенденция ухудшения качества подземных вод вследствие уменьшения расхода рек и сброса в них коллекторно-дренажных и сточных вод. Критическим периодом, когда произошло нарушение водного режима бассейнов Сырдарьи и Амударьи в результате интенсивной хозяйственной деятельности, и прежде всего роста орошаемого земледелия, являются 60-е годы нашего столетия. В этот период водопотребление поверхностных вод достигло 30—40 км³.

Дальнейший рост водопотребления до 60 км³ и более вызвало необратимое снижение уровня Аральского моря и повышение минерализации его вод. Истощение ресурсов поверхностных вод и повышение минерализации поверхностного стока вызвали закономерное качественное истощение линз пресных вод низовий Аму- и Сырдарьинского региона, скорость и интенсивность которого определяются как природными параметрами (размерами, характером взаимосвязи поверхностных и подземных вод, фильтрационными свойствами отложений), так и интенсивностью эксплуатации месторождений.

Для целого ряда районов аридной зоны, в пределах которых потребности в пресных питьевых водах стали соизмеримы с восполняемыми ресурсами, возникла угроза истощения пресных подземных вод. Напряженность водохозяйственного баланса для таких территорий в многолетнем разрезе возрастает и может достичь критических значений, что уже проявляется в маловодные годы. Тенденция ухудшения качественного состава месторождений пресных подземных вод в таких районах (Китабо-Шахризябское, Ширабадское и другие месторождения) впрямую связана со степенью и характером их эксплуатации.

В пределах аридной зоны имеется целый ряд гидрогеологических структур, в пределах которых сформировались значительные природные ресурсы пресных подземных вод, обеспечивающие в настоящее время потребности хозяйственно-питьевого водоснабжения. Это прежде всего межгорные впадины, межгорные речные долины, конуса выноса. Однако и в этих районах вследствие интенсивного развития промышленности и сельского хозяйства развивается техногенное загрязнение подземных вод, интенсифицируемое водоотбором для нужд хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения.

Промышленное загрязнение грунтовых вод в аридной зоне наблюдается в ряде районов и в целом имеет пока локальный характер. Степень локализации его зависит как от интенсивности техногенных нагрузок, так и от геолого-гидрогеологических условий. Закономерности формирования химического состава подземных вод под влиянием стоков промышленных предприятий специфичны и зависят от состава стоков и их взаимодействия с породами и природными водами. Время формирования ареалов загрязнения подземных вод под влиянием крупных промышленных узлов составляет 10—15 лет, их протяженность — от 3 до 10—12 км. Значительная протяженность ареалов

загрязнения связана не только с влиянием интенсивного водоотбора ниже источников загрязнения, но и с высокой проводимостью пласта.

О глубине проникновения техногенных воздействий на гидрогеологические условия аридной зоны свидетельствует трансформация нефтегазовых месторождений по мере их отработки и заполнения коллекторов контурной пластовой водой в гидроминеральные. Наиболее резко это проявилось в Ферганском артезианском бассейне, где месторождения углеводородов разрабатываются в течение нескольких десятилетий. Обводненность продуктивных горизонтов возросла и достигла 90—95% и более. Добыча нефти ведется с попутным извлечением сероводородных, иодобромных, рассольных и других типов минеральных вод. Технология нефтедобычи существенно изменяет окислительно-восстановительную обстановку, характер и направленность гидрохимических процессов. Например, на структуре Ходжиабад поверхностная концентрация сероводорода в воде одного из продуктивных горизонтов палеогена в процессе длительной эксплуатации увеличилась со 100—150 до 250—350 мг/л, а на Южном Аханшике — до 250—350 мг/л (против первоначальных 1,5—3,5 мг/л).

Выше уже отмечалось, что с изменением уровня грунтовых вод и влажностного режима пород связаны весьма специфичные и контрастно выраженные изменения инженерно-геологических условий аридных районов. В результате длительного дополнительного увлажнения ранее маловлажных грунтов зоны аэрации на орошаемых массивах и подтопленных городских территориях происходят глубокие изменения химико-минерального состава, состояния и свойств грунтов, особенно лессовых и глинистых. Набухание последних (меловых и палеогеновых монтмориллонитовых глинистых грунтов) вызвало деформации сооружений в ряде городов и более мелких населенных пунктов пустыни Кызылкум. Наиболее же массовыми являются отрицательные деформации рельефа, обусловленные просадкой лессовых грунтов.

По данным стационарного изучения этого процесса на орошаемых территориях в зоне влияния ирригационных каналов в Узбекистане установлено, что их величина различна и зависит от продолжительности увлажнения и местоположения участка массива. Максимальная величина просадки на орошаемых площадях после восьмилетнего орошения достигла 0,87 м, минимальная — 0,09 м, средняя величина составила 0,40 м. Дно межхозяйственных каналов в среднем просело на 0,75 м, дно внутрихозяйственных распределителей после трехлетней эксплуатации просело в среднем на 0,35 м. Максимальная величина просадки лессовых пород в зоне влияния межхозяйственного канала после шестилетней эксплуатации достигла 0,43 м, минимальная — 0,18 м, средняя величина составила 0,31 м.

В пределах городских территорий величина просадочных деформаций достигает больших величин. Как уже отмечалось, в пределах Ташкентской агломерации они составляют 2,5—3 м.

Проблема рационального использования геологической среды — одна из важнейших проблем современности. Инженерно-хозяйственная

деятельность человека практически повсеместно приводит, как убедительно показано, к изменению различных компонент и геологической среды в целом. Полнотью избежать их нельзя. Поэтому проблема состоит не столько в охране, сколько в рациональном использовании геологической среды. В этом случае на первое место выдвигаются проблемы управления процессами, происходящими в верхней части литосферы, с целью обеспечения рационального функционирования и использования ресурсов геологической среды.

Главный аспект этой проблемы — тщательное соблюдение проектного режима эксплуатации геологической среды, основанное на знании геологических закономерностей ее развития. Это способствует сведению неизбежных изменений к оптимуму (обычно закладываемому в проекты), позволяет во многом сократить масштабы или избежать развития сопутствующих негативных изменений. Второй ее аспект заключается в недопущении или прекращении, если это уже имеет место, тех видов воздействий, которые являются вредными для данного типа геологической среды и наносят наибольший урон ее ресурсам (например, работы предприятий, вызывающих интенсивное загрязнение подземных вод, в том числе питьевых и минеральных, в областях их питания). Третий аспект этой проблемы — правильный всесторонний учет природной обстановки, в первую очередь особенностей геологической среды при проектировании и строительстве защитных и других регулирующих инженерных сооружений всех типов, создаваемых как в равнинных, так и горно-складчатых областях для управления состоянием геологической среды.

Решение этой проблемы в наиболее полном объеме возможно, как известно, при соблюдении следующих условий: 1) наличия к моменту разработки планировочной документации к началу проектирования качественной гидрогеологической, инженерно-геологической и геокриологической документации; 2) научно обоснованного проектирования по качественным крупномасштабным материалам опережающих (в случае необходимости уточняемых в ходе проектирования) гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических работ, включающих в качестве обязательного вида исследований прогнозирование развития геологических процессов под влиянием естественных и главное — техногенных факторов; 3) своевременной разработки геологически обоснованных рекомендаций и проектов по борьбе с развитием опасных геологических процессов; 4) выполнения строительных работ и эксплуатации сооружений, в том числе защитных в строгом соответствии с проектом, учитывающим особенности гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий.

Первый из этих моментов является чрезвычайно важным. Именно он закладывает основу для разработки рациональных с геологической точки зрения путей освоения территории. Его решение требует осуществления объемного и дорогостоящего комплекса геологических работ, включающего опережающую среднемасштабную гидрогеологическую, инженерно-геологическую и геокриологическую съемку района освоения, крупномасштабную съемку и разведку конкретных

участков, стационарные режимные наблюдения за динамикой геологической среды на освоенных участках, выполнение геологического надзора за характером эксплуатации этих территорий.

Необходимо отметить, что в решении проблем рационального использования геологической среды чрезвычайно важная роль принадлежит научным по своей сути исследованиям. Разработка региональных и локальных прогнозов, их постоянное уточнение на основе данных режимных наблюдений, выработка на основе этого путей управления негативными процессами — вот что должно лежать в основе профилактики техногенных воздействий и рационального использования геологической среды. Это одновременно и стратегия борьбы с загрязнением и истощением подземных водных ресурсов, с другими неблагоприятными природными и антропогенными геологическими процессами.

Реальным инструментом рационального использования геологической среды, а в случае необходимости и ее охраны, может стать литомониторинг, представляющий собой систему наблюдений, прогноза и управления техногенными и природными изменениями геологической среды [14]. Такое представление признается далеко не всеми. В процессе дискуссии выявилось два подхода: либо наблюдать в ходе реализации литомониторинга только техногенные изменения среды или природные тоже, либо включать в цели мониторинга только наблюдения и прогнозы или еще и управление состоянием среды.

В.К. Епишин и В.Т. Трофимов [14], рассмотрев этот вопрос, показали: 1) в целевую программу литомониторинга должны быть включены наблюдения как за техногенными, так и за природными изменениями геологической среды, прежде всего за изменениями, характеристическое время которых сопоставимо с периодом жизни природно-технической системы; 2) целью литомониторинга должны быть оценка состояния геологической среды и управление ею (средой), так как участие в управлении неблагоприятными геологическими процессами традиционно входит в задачи инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии; 3) разработка литомониторинга в силу специфиности его целевой программы, теоретических и методических традиций этих наук, имеющейся сети натурных режимных наблюдений, практической ее реализации в системе различных министерств и ведомств является относительно независимой от разработки мониторинга других компонент окружающей среды, хотя и должна выполняться на единой методологической основе с последним.

Структурная схема литомониторинга, основанная на этом подходе, показана на рис. 2. Суть его фактически состоит из трех взаимосвязанных, идущих параллельно и систематически оцениваемых процессов: 1) режимных наблюдений; 2) перманентного прогнозирования и 3) управления. В этой системе оценивается сходимость составленного прогноза, точность управления (степень его отклонения от цели) и отклонение состояния геологической среды от оптимального или гомеостатического состояния.



Рис. 2. Структурная схема литомониторинга (по В.К. Епишину и В.Т. Трофимову [14])

Следует особо подчеркнуть роль инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии в разработке системы литомониторинга. С помощью методов этих наук выполняются: 1) контроль состояния геологической среды; 2) перманентные прогнозы ее природных и техногенных изменений; 3) решение оптимизационных задач и выработка геологических рекомендаций; 4) геологический контроль во время строительства защитных сооружений; 5) геологический контроль за работой инженерных, в том числе защитных сооружений. Строительство же последних осуществляется организациями Госстроя СССР и других министерств и ведомств.

К настоящему времени работают в основном локальные системы литомониторинга. Дальнейшая их разработка и ввод в эксплуатацию и объединение в национальную систему — важнейшая государственная проблема. Для успешного ее решения необходима единая служба в стране, вопрос о создании которой уже назрел.

В заключение подчеркнем, что научно-техническая революция, неизменно обострив противоречия между человеческим обществом и природой в целом и геологической средой в частности, в то же время создала возможности для разрешения этих противоречий. Ведь только современная техническая база позволяет, например, внедрить безотходную технологию или совершенно иные способы утилизации промстоков, при которых переработка отходов оказывается экономически рентабельной. Разумеется, речь идет о совершенных технических устройствах, мощных научно-производственных объединениях и даже специальных отраслях промышленности, которые требуют крупных капиталовложений.

Человечество, кажется, осознало, что природа не только источник ресурсов. Пора относиться к ней как к партнеру и ориентироваться на экологическую гармонию природы с человеком. Лишь при такой этике станет возможным управление режимом геологической среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белицкий А.С., Орлова Е.И. Охрана подземных вод от радиоактивных загрязнений. М.: Медицина, 1968. 208 с.
2. Гарагуля Л.С. Методика прогнозной оценки антропогенных изменений мерзлотных условий. М.: Изд-во МГУ, 1985. 225 с.

3. Гидрогеология СССР. Свод. том. Вып. 4. Влияние производственной деятельности человека на гидрогеологические и инженерно-геологические условия. М.: Недра, 1973. 278 с.
4. Горшков С.П. Экзогеодинамические процессы освоенных территорий. М.: Недра, 1982. 287 с.
5. Инженерно-геологические аспекты рационального использования и охраны геологической среды. М.: Наука, 1981. 240 с.
6. Киссин И.Г. Вода под землей. М.: Наука, 1976. 224 с.
7. Ковалевский В.С. Исследования режима подземных вод в связи с их эксплуатацией. М.: Недра, 1986. 200 с.
8. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 261 с.
9. Основы гидрогеологии. Использование и охрана подземных вод. Новосибирск: Наука, 1983. 232 с.
10. Пиннекер Е.В. Охрана подземных вод. Новосибирск: Наука, 1979. 70 с.
11. Плотников Н.И., Карцев А.А. Прогноз влияния техногенеза на изменение гидрогеологической обстановки // Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов. М.: Наука, 1982. Т. 2. С. 176—186.
12. Плотников Н.И., Краевский С. Гидрогеологические аспекты охраны окружающей среды. М.: Недра, 1983. 208 с.
13. Сергеев Е.М. Инженерная геология и охрана окружающей среды // Охрана биосферы. Кишинев, 1980. С. 82—90.
14. Теоретические основы инженерной геологии: Соц.-экон. аспекты. М.: Недра, 1985. 260 с.
15. Хазанов М.И. Искусственные грунты, их образование и свойства. М.: Наука, 1975. 133 с.

УДК 624.131.1:550.814:624.131.32

*И.С. Комаров, С.А. Акинфиев, В.И. Лялько,
А.А. Огильви, А.И. Шеко*

Методы, методики и технические средства изучения геологических процессов в районах интенсивного техногенного воздействия

Одна из наиболее острых проблем современности — неблагоприятное воздействие на окружающую (природную) среду различных видов человеческой деятельности. В нашей стране этой проблеме уделяется большое внимание, что нашло отражение в ряде статей Советской Конституции (11, 18, 42, 67 и др). На основе этих статей разработана "Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов" (ГОСТ 17.0.0.01—76) и природоохранное законодательство. Контроль за выполнением законов возложен на Советы народных депутатов, их исполнительные и распорядительные органы, а также специально уполномоченные для этой цели организации: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природы, Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, Министерство здравоохранения СССР, Министерство геологии СССР и др. Рассмотрение экологических разделов государственных планов осуществляется Госпланом СССР.

На осуществление мероприятий по охране окружающей среды выделяются большие средства.

Несмотря на все эти меры, положение в области охраны окружающей среды остается во многих отношениях неудовлетворительным.

По ряду причин, которые будут указаны далее, в особо неблагоприятном положении оказалась геологическая часть окружающей среды, представленная верхней зоной литосферы, в пределах которой осуществляются многие виды человеческой деятельности и создаются различные инженерные объекты. В дальнейшем будем называть ее для краткости, в соответствии с предложением Е.М. Сергеева, геологической средой.

Недостаточное внимание к проблеме охраны геологической среды привело к интенсивному развитию экзогенных геологических процессов, многие из которых приобрели региональный характер, нанесли и продолжают наносить большой ущерб народному хозяйству. Задача изучения динамики геологической среды отличается сложностью и не может быть решена в рамках частнонаучных методов, методик и технических средств. Здесь требуется более широкий подход, основанный на всестороннем анализе сложившейся ситуации и выявлении всех основных причин наблюдающихся негативных явлений. Не претендуя на полноту освещения вопроса, отметим некоторые из них, которые представляются нам наиболее важными:

преимущественно экстенсивный характер развития народного хозяйства СССР в последние десятилетия, основанный на непрерывном росте масштабов потребления природных ресурсов при недостаточном внимании к ресурсосберегающим технологиям и природоохранным мероприятиям;

приоритет, которым пользовались в течение длительного времени интересы текущего момента перед задачами долговременного социально-экономического планирования. По этой причине внимание нередко уделялось таким мероприятиям, которые давали кратковременную выгоду, но в длительной перспективе оборачивались неблагоприятными последствиями;

ведомственно-отраслевая организация народного хозяйства СССР. В результате ведомственные интересы нередко приходили в противоречие с общегосударственными, в частности, в области охраны и рационального использования природной среды;

узкопредметная, дисциплинарная организация наук о Земле, присущая не только отраслевым НИИ, где такой подход, отвечающий ведомственным интересам, еще может найти если не оправдание, то объяснение, но и в АН СССР и академиях наук союзных республик, где подход к изучению природы как единой сложной системы давно должен был стать руководящим принципом при решении любых задач природопользования. Однако до настоящего времени в АН СССР нет научных подразделений, исследующих природу с системных экологических позиций;

нарушение норм и правил строительства и эксплуатации сооружений и их комплексов, плохое качество строительства, отступление от требований и норм эксплуатации сооружений. Достаточно

наглядным примером может служить строительство промкомплекса "Атоммаш", где были грубо нарушены все основные требования к возведению и эксплуатации сооружений на лёссовых грунтах, что не замедлило сказаться на интенсивном развитии просадочных явлений. Подобного рода нарушения приобрели в последние десятилетия массовый характер. Это привело, в частности, к интенсивному подъему уровня грунтовых вод на территории большинства городов юга Европейской части СССР, вызвав подтопление и развитие широкого комплекса неблагоприятных геологических процессов. Указанное относится не только к промышленному и гражданскому строительству, но в еще большей степени к осуществлению мелиоративных мероприятий, где масштабы развития неблагоприятных геологических процессов особенно велики.

При изучении динамики геологической среды перечисленные причины обычно не учитываются, поскольку выходят за рамки инженерной геологии как определенной отрасли знания, но без их учета невозможно понять, чем вызвана резкая активизация многих экзогенных геологических процессов, приобретших местами угрожающий характер. Приведем несколько типичных примеров:

по данным Б.В. Виноградова [1], в результате нерационального использования земель в Калмыкии ("Черные земли") в конце 50-х годов началось разевание песков. В 1958 г. площадь очагов разевания не превышала 2—3% территории, к 1976 г. она увеличилась до 18%, к 1981 г. — до 22% и в 1983 г. — до 33%. Ущерб, нанесенный местному скотоводству, оценивается в несколько сотен миллионов рублей;

по данным Института земледелия и защиты почв от эрозии, только за 4 года (с 1976 по 1980 г.) площадь эродированных земель в черноземной полосе возросла с 2,9 млн га (15,2% площади) до 4 млн га (28% площади), т.е. увеличивалась в среднем на 4% в год. На эродированных землях ежегодно теряется 30—60% урожая, что наносит государству ущерб в 400 млн руб.;

только по правобережью Дона длина оврагов за послевоенный период возросла на 7 тыс. км, поглотив 70 тыс. га плодородных земель. По самым скромным подсчетам, ущерб составляет 200 млн руб.

При изучении динамики геологической среды необходимо также четко определить общую идеологию, которой следует придерживаться при выполнении научно-методических, технологических или иных разработок в области оценки состояния и прогнозов изменения геологической среды. Последнее время этому вопросу уделялось в специальной литературе много внимания и при известном различии в трактовке отдельных положений в работах разных авторов наметились некоторые общие положения, которые представляются достаточно конструктивными. Сформулируем их в краткой тезисной форме:

основным объектом инженерно-геологических исследований, как было отмечено ранее, является геологическая среда — зона литосферы, в которой локализуется инженерная и хозяйственная деятельность. В пространственном отношении она неоднородна и может

быть подразделена на основе принципов и методов инженерно-геологического районирования на соподчиненные территориальные единицы нескольких рангов. Уровень, до которого должно быть доведено районирование, определяется задачами исследований;

выделяемые территориальные единицы представляют собой объемные участки литосферы (массивы пород, грунтовые толщи), ограниченные с поверхности рельефом, по которому геологическая среда контактирует с поверхностной гидросферой и атмосферой; нижняя граница условна и зависит от вида хозяйственной или инженерной деятельности;

свойства, присущие выделяемым массивам пород, позволяют рассматривать их как сложные открытые динамические системы. При различных оценках, расчетах, прогнозах составляется инженерно-геологическая модель системы, носящая предметно-целевой характер и отражающая такие ее особенности, параметры, характеристики, которые отвечают задачам исследований;

основными компонентами системы являются горные породы, подземные воды, газы, физические поля, находящиеся в различных соотношениях и образующие сложные пространственные структуры;

геологическая система является частью (подсистемой) более общей природной системы, включающей также атмосферу, гидросферу, космос (солнечная радиация), биосферу, с которыми она находится во взаимодействии; по своей природе внутрисистемные и внешние взаимодействия представляют собой различные виды энергомассопереноса и создают вещественно-энергетическую базу функционирования и динамики геологической системы;

динамика системы проявляется в развитии различных геологических процессов, которые могут развиваться как внутри геологической системы, так и на контакте с другими средами;

инженерно-хозяйственное освоение территории превращает геологическую систему в геолого-техногенную, состоящую из двух подсистем: геологической и техногенной. Техногенная подсистема может быть представлена отдельным зданием или сооружением, газопроводом, массивом орошения, промузлом, городом и множеством других инженерных и хозяйственных объектов различного размера, назначения, степени сложности. Формирование техногенной подсистемы осуществляется в соответствии с предварительно разработанными планами и проектами, и с момента начала их реализации начинают проявляться различные формы воздействия создаваемой системы на геологическую среду. Нагрузки от строящихся зданий и сооружений нарушают напряженное состояние массива пород, утечки из водоемов или отбор воды для водоснабжения повышают или снижают уровень грунтовых вод и изменяют их естественный режим, тепловые воздействия зданий, сооружений, коммуникаций меняют параметры и структуру теплового поля и т.д. Одновременно нарушаются связи с другими подсистемами — атмосферой, поверхностной гидросферой, биотой: меняется радиационный и тепловой баланс земной поверхности, снижается инфильтрационное питание грунтовых вод за счет выпадающих осадков и пр. Это приводит к изменению

нию структуры (парагенеза) геологических процессов: одни из них затухают, другие активизируются; возникают новые процессы как реакция на взаимодействие техногенного объекта с геологической средой. Развивающиеся процессы влияют, в свою очередь, на техногенную подсистему, вызывая деформации зданий и сооружений, повреждения коммуникаций и пр. В конечном счете формируется сложная структура прямых и обратных связей, имеющих различную физическую, физико-химическую или химическую природу и не менее сложная структура вызванных ими геологических процессов. Так выглядит геолого-техногенная система, если рассматривать ее с позиций структурно-системного анализа. В качестве примера проанализируем ситуацию, сложившуюся в г. Волгограде. Этот город интересен тем, что он претерпел полную перестройку после окончания войны и история формирования геолого-техногенной системы, составляющая менее половины столетия, легко поддается восстановлению. Город расположен на различных по возрасту и составу отложениях: палеогеновых кремнистых песчаниках и алевролитах, майкопских и хвалынских глинах, лессах нескольких возрастных генераций, аллювиальных песках. В период строительства и восстановления уровень грунтовых вод на большей площади города стоял на глубинах 10—30 м и более. Однако большие утечки воды из водоводов, неумеренный полив скверов и парков в центре города и садов и огородов на его окраинах, непродуманная засыпка оврагов, выполнивших роль естественных дрен, глинистым грунтом, привели к быстрому подъему уровня грунтовых вод (с интенсивностью 0,5—1 м в год) и развитию подтопления. Подъем грунтовых вод сопровождался развитием широкого комплекса геологических процессов: набуханием майкопских и в особенности хвалынских глин, просадками лессов, развитием оползневых явлений по склонам долины Волги и многочисленных оврагов и балок, потерей несущей способности свайных оснований, резким увеличением коррозийного воздействия грунтовых вод на металл и бетон и др. Тепловые воздействия привели, в свою очередь, к тепловой усадке глин и деформациям горячих цехов, заводских труб, теплотрасс. Восстановительные и ремонтные работы, связанные с воздействием всех этих процессов, обходятся ежегодно городу во многие миллионы рублей. На примере Волгограда хорошо видно, что геологические исследования, рассчитанные на оценку современного состояния геологической среды, а тем более на составление прогноза ее изменения в будущем, не могут быть ограничены фиксацией проявлений тех или иных процессов, но должны включать глубокий анализ всех условий и факторов, которые ответственны за их возникновение и развитие во всем сложном взаимодействии.

В современной практике к решению этой задачи привлекаются инженерно-геологические съемки разных, в том числе крупных масштабов (1:5000—1:10000), дополняемые использованием некоторых аналитических методов, моделирования, метода инженерно-геологических аналогий. Инженерно-геологические съемки позволяют получить необходимую информацию о геологическом строении терри-

тории, гидрогеологических условиях, физико-механических свойствах пород, развитии геологических процессов. Но изучается фактически не динамика геологических процессов, а лишь их характер, параметры, масштабы и формы проявления. О динамике можно судить лишь по некоторым косвенным признакам. Аналитические методы ограничены недостаточным знанием физической природы многих явлений, а весьма эффективные методы моделирования — невозможностью получения достаточно надежных исходных параметров. Метод инженерно-геологических аналогий несомненно обладает многими достоинствами, но в современную эпоху, когда непрерывно меняются масштабы и характер инженерных проектов, принимаются новые, все более сложные технические решения, имеющийся опыт не всегда оказывается достаточно надежным. Нередко возникают такие взаимодействия и процессы, которые слабо изучены или вообще не наблюдались в инженерной практике прошлых лет. В связи с этим прогнозы, составляемые на основе всех этих методов, обеспечивают, как правило, невысокую степень приближения и в большинстве случаев не отвечают требованиям практики. Можно отметить, например, что большая интенсивность развития геологических процессов при строительстве городов или промкомплексов часто оказывается неприятной неожиданностью не только для строителей и проектировщиков, но и для изыскателей.

Недостаточная надежность и точность применяемых методов оценок и прогнозов, приводящая к неверным техническим решениям, массовому развитию деформаций зданий и сооружений, большим затратам на ремонтные и восстановительные работы, неблагоприятным воздействиям на природную среду, привлекла внимание многих исследователей к идеи создания мониторинга — постоянно действующей системы наблюдений (непрерывных или периодических), организованной в соответствии с принятой целевой установкой и вытекающими из нее задачами [2—4, 6]. Поскольку объектом наблюдений является геологическая среда, или литосфера, мониторинг такого назначения получил в литературе название "мониторинг геологической среды", "литомониторинг", или "инженерно-геологический мониторинг". Нередко в понятие мониторинг включают также составление прогнозов и даже управление геологическими процессами, но такое решение представляется нам спорным. Ведь при прогнозировании динамики геологической среды используются не только полевые наблюдения, но и многие другие методы: метод аналогий, физическое моделирование, лабораторные исследования и др. Таким образом, прогноз следует рассматривать как гораздо более широкую комплексную задачу и нет оснований объединять ее с полевыми наблюдениями, хотя последние по своему содержанию и постановке должны отвечать задачам прогноза. Еще меньше оснований включать в мониторинг задачу управления геологическими процессами, так как она далеко выходит по своему содержанию за рамки инженерной геологии.

Создание мониторинга геологической среды требует выполнения специальных разработок теоретического, научно-методического, тех-

нологического, технического и организационного характера. С 1986 г. такие разработки проводятся в Советском Союзе по двум программам: "Литомониторинг" по плану Министерства геологии СССР и разделу межотраслевой программы "Космос" ("Разработать научные и технологические основы аэрокосмического мониторинга геологической среды — АМГС"). Выделение аэрокосмической части мониторинга в самостоятельную программу диктовалось в первую очередь стремлением в возможно более сжатые сроки дать информацию о состоянии и динамике геологической среды, которую можно использовать при планировании и проектировании различных инженерно-хозяйственных мероприятий. Реализация программы осуществляется под совместным руководством Министерства геологии СССР, Госкомитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР и секции наук о Земле АН СССР (Совета по инженерной геологии и гидрогеологии). К выполнению отдельных заданий программы привлечено большое число научных, научно-производственных и производственных организаций различных министерств и ведомств. Межведомственный и междисциплинарный характер программы позволяет рассчитывать на создание мониторинга, имеющего достаточно широкую системную основу. Предполагается, в частности, что он будет достаточно тесно увязан с "Общегосударственной службой наблюдений и контроля за уровнем загрязнения внешней среды" (ОГСНК), которая, в свою очередь, входит в состав программы "Глобальная система мониторинга окружающей среды" (ГСМОС), выполняемой в рамках ЮНЕП, ВМО, ЮНЕСКО, СЭВ. Дополнение этой программы наблюдениями за состоянием геологической среды создаст основу для организации в перспективе подлинного экологического мониторинга.

Для получения достаточно полного представления о динамике геологической среды мониторинг следует осуществлять одновременно, по крайней мере, на трех иерархических уровнях: глобальном, региональном и локальном.

Региональный (фоновый) мониторинг должен охватывать целые экономические районы (например, всю Украину или Московскую область) и давать общее представление о характере, масштабах и интенсивности проявления различных геологических процессов, ущербе, который они наносят природной среде и различным народно-хозяйственным объектам. В зависимости от степени освоенности территории, интенсивности проявления геологических процессов и других факторов фоновый мониторинг можно выполнять в широком диапазоне масштабов от 1:100 000 до 1:500 000. Получаемая информация найдет применение при составлении схем размещения производительных сил и отраслей народного хозяйства, территориальных комплексных схем охраны природы, схем районной планировки, отраслевых схем охраны и использования природных ресурсов и схем комплексного использования рек, а также других материалов, связанных с природопользованием.

Детальный мониторинг должен давать уже более полное пред-

ставление о развитии геологических процессов в пределах существующих или проектируемых крупных инженерных комплексов (город, гидроузел, промкомплекс, газо- и нефтепровод и пр.). Ориентировочные масштабы 1:5000 — 1:25000. Получаемая информация может использоваться при составлении генпланов городов и промкомплексов, предпроектных проработок (ТЭО), проектировании мероприятий по защите сооружений от различных геологических процессов. Наконец, локальный мониторинг должен быть привязан к определенному техногенному (здание, сооружение) или геолого-динамическому (оползень, сель, ледник и т.д.) объекту. Ориентировочные масштабы 1:5000 и крупнее. Получаемая информация может использоваться при проектировании конкретного защитного мероприятия или сооружения.

Выбор методов, используемых при мониторинге, определяется его уровнем. При фоновом мониторинге в качестве базовых рационально использовать аэрокосмические методы, дополняя их небольшим объемом наземных исследований. При локальном мониторинге основная роль переходит уже к наземным исследованиям.

В литературе мониторинг нередко рассматривают как "службу", которая может быть организована в относительно отдаленной перспективе, когда будут решены теоретические, научно-методические, технологические, технические и организационные вопросы. Составление прогнозов отодвинется в этом случае на еще более отдаленный срок, так как для этого нужно получить достаточно длинные ряды наблюдений. С такой позицией согласиться нельзя, так как информация о состоянии и динамике геологической среды нужна уже сегодня, когда составляются и уточняются планы социально-экономического развития страны на текущую пятилетку и на период до 2000 г. И возможность для этого имеется. Получение нужной информации могут обеспечить применение аэрокосмических методов, ретроспективный анализ, основанный на изучении имеющихся карт, текстовых источников, и использование аэрофотоснимков (АФС) и космических снимков (КС) залетов прошлых лет. Выявленные при этом закономерности могут экстраполироваться с теми или иными поправками на будущее. Примером может служить уже упоминавшаяся нами ранее работа Б.В. Виноградова по изучению разведения песков на "Черных землях" [1], где дешифрование АФС и КС залетов прошлых лет не только позволило выявить закономерности развития этого процесса, но и составить обоснованный прогноз, позволивший осуществить, хотя и с большим опозданием, необходимые защитные мероприятия.

Перейдем теперь к рассмотрению методов, методик и технических средств, которые целесообразно использовать при изучении геологических процессов в зоне интенсивного хозяйственного освоения. Отметим прежде всего, что число таких методов велико и даже беглый их обзор трудно сделать в небольшом по объему докладе. Кроме того, такой обзор неизбежно будет весьма поверхностным и принесет мало пользы. В связи с этим мы сосредоточим свое внимание на трех группах методов (аэрокосмические, геофизиче-

ские и наземные обследования и стационарные наблюдения), которые, во-первых, являются в решении этой задачи ключевыми, а во-вторых, достигли в последние годы заметного прогресса. Есть основания считать, что они найдут широкое применение и в дальнейшем.

1. Аэрокосмические методы

Съемки в оптическом диапазоне спектра. Материалы аэрофотосъемок в оптическом диапазоне спектра используются в инженерной геологии (в том числе и для изучения геологических процессов) с давних времен. В настоящее время для этой цели созданы современные технические средства и технологии. Съемка может выполняться в широком диапазоне масштабов (1:5000—1:50 000) в черно-белом, цветном, многозональном и спектрозональном вариантах специальными фотокамерами, дающими высокоточное изображение. Хорошо разработана и методика инженерно-геологического дешифрирования АФС, во всяком случае, в своей принципиальной основе. Полезная информация может быть получена и по районам интенсивного хозяйственного освоения, хотя возможность ландшафтно-индикационного метода, широко используемого в инженерной геологии, здесь заметно снижена нарушенностью природных ландшафтов или даже полным их замещением культурными. В этих условиях особую роль приобретают геоморфологические признаки дешифрирования — различные особенности строения рельефа. Для получения надежных характеристик рельефа применяются специальные фотограмметрические методы. Обработка снимков производится на стереокомпьютере с последующей обработкой полученных данных на ЭВМ или на универсальных приборах, которые производят одновременно и стереоизмерения и их математическую обработку. Опыт показывает, что дешифрирование АФС даже в зоне интенсивного освоения позволяет:

установить контуры и определить площади проявления всех геологических процессов, если они в той или иной форме выражены в рельефе;

получить основные морфометрические характеристики. Так, при изучении оползневых склонов может быть измерена высота склона, его заложение и протяженность, средняя крутизна склона, положение трещин, уступов, мочажин, бугров и других форм, важных для установления типа и степени активности оползня. При изучении овражной эрозии могут быть измерены размеры эрозионных форм, глубина и густота расчленения склонов, крутизна склонов, объемы вынесенного материала и др.;

установить некоторые из условий и факторов, вызвавших возникновение процесса и контролирующих его развитие;

определить ущерб, наносимый геологическим процессом (парагенезом процессов) природной среде, хозяйственным мероприятиям и инженерным сооружениям.

По материалам повторных съемок можно определить развитие процесса: рост оврагов или других эрозионных форм, величину отступления берега при абразии или термоабразии, величину значительных по размеру оползневых смещений.

Дальнейшие научно-исследовательские работы, ведущиеся в настоящее время в этой области, направлены главным образом на получение информации по мало исследованным территориям и недостаточно изученным геологическим процессам с целью выявления новых или уточнения ранее установленных закономерностей, что может расширить область применения АФС и повысить надежность геологического дешифрирования. Определенные перспективы создает использование разрабатываемых в настоящее время методов преобразования изображения, позволяющих повысить дешифровочные свойства АФС и облегчить процесс дешифрирования.

КС начали применяться в инженерной геологии значительно позже (с начала 70-х годов), и здесь вопросы техники, технологии и методики дешифрирования разработаны значительно слабее. При обсуждении возможности и эффективности использования КС для изучения динамики геологических процессов возникают два принципиально важных вопроса, касающихся требуемой повторности съемок и необходимой разрешающей способности КС. Решение этих вопросов определяет все направления технических и методических разработок в этой области.

Геологическая среда в отличие от погодных условий характеризуется относительной стабильностью, а скорость развития большинства процессов невелика, поэтому здесь нет необходимости в очень высокой оперативности наблюдений. Для большинства процессов интервал между съемками может измеряться месяцами и даже годами. Так, например, для получения представления о развитии всех видов ветровой и водной эрозии достаточно производить съемки один раз в год или, если имеется намерение учесть влияние сезонных аспектов, 2—4 раза в год. Однако в некоторых случаях может возникнуть необходимость производства съемки в какой-то определенный момент времени. Такая ситуация может возникнуть, например, при изучении землетрясений, селей, смещения оползневых масс и др. Приурочить съемку к моменту катастрофы можно только случайно, но выполнить ее непосредственно вслед за катастрофой, когда еще свежи все характерные признаки, весьма важно, так как на основе этого материала можно выявить закономерности произошедшего процесса и оценить его последствия для природной среды, инженерных сооружений, различных хозяйственных объектов. В дальнейшем эти материалы можно использовать при составлении прогнозов. Наконец, в некоторых, правда, очень редких случаях может потребоваться оперативное слежение за развитием процесса с периодичностью, измеряемой сутками и даже часами. Это может относиться к извержению вулканов, катастрофическому разрушению морских берегов при штормах, движению горных ледников или некоторых типов оползней и др. Как видно из приведенных соображений, требуемая повторность КС зависит в большой степени от

характера изучаемых процессов и может изменяться в широких пределах — от часов до месяцев и даже лет.

Не менее важным является вопрос о необходимом разрешении КС. Если исходить из установленных требований нанесения контуров на инженерно-геологические карты средних масштабов (1:25 000 — 1:200 000), необходимости фиксации небольших по размерам проявлений таких процессов, как карст, криогенное пучение, овраги и др., желательности выявления деталей морфологии оползневых тел, абрадируемых берегов и пр., разрешение снимков должно быть не ниже 5—10 м; при более низком разрешении значительная часть полезной информации будет потеряна.

Посмотрим, в какой мере эти требования могут быть выполнены при космических съемках. Одновременно остановимся на некоторых других вопросах, от которых зависит эффективность применения КС.

Отметим в первую очередь два важных достоинства космической съемки, которые дают ей известное преимущество перед аэрофотосъемкой. Первое из них связано с возможностью съемок поверхности Земли в очень широком диапазоне масштабов (степени разрешения) — от очень мелкого до крупных, приближающихся к АФС. При использовании снимков мелкого масштаба (невысокого разрешения) достигается большая обзорность территории и одновременно генерализация изображения, позволяющая выявить такие закономерности строения поверхности Земли, которые на снимках более крупного масштаба вуалируются второстепенными деталями. Это позволяет правильно планировать дальнейший дешифровочный процесс при поэтапном переходе к снимкам более крупного масштаба, концентрируя внимание на таких элементах изображения, которые могут иметь первостепенное значение. В результате нередко удается выявить такие особенности строения местности, которые ускользают от внимания оператора при дешифрировании снимков одного масштаба. Второе достоинство заключается в возможности единовременной съемки большой площади, что резко снижает влияние помех, вносимых в изображение погодными условиями, высотой стояния солнца и другими причинами.

В современной практике космическая съемка в оптическом диапазоне выполняется в двух вариантах: черно-белом и многозональном. Черно-белые (панхроматические) снимки характеризуются пониженной информативностью за счет потери такого важного признака, как цвет, но одновременно более высоким разрешением, что делает их полезными в случаях, когда требуется получить детальное изображение. Многозональная съемка выполняется одновременно в нескольких участках спектра, что дает возможность выбрать такое изображение, где интересующие оператора объекты выделяются наиболее контрастно. В тех случаях, когда на снимке нужно выявить ряд объектов, для которых эффективны разные участки спектра, можно прибегнуть к изготовлению синтезированного псевдоцветного изображения (спектрозональные снимки). При инженерно-геологическом дешифрировании, когда необходимо выделить большое число ландшафтных элементов, используемых в качестве дешифровочных

признаков, а нередко и сами горные породы, снимки такого типа являются оптимальными.

При съемках из космоса используются фотографические и сканерные (телевизионные) системы. Фотографические снимки превосходят по разрешению и другим характеристикам сканерные, но обладают одним весьма существенным недостатком: получаемая фотопленка должна быть возвращена из космоса на Землю. В связи с этим фотографические КС можно использовать лишь в тех случаях, когда периодичность съемок не лимитирована, в противном случае приходится пользоваться сканерными снимками (КСС), где изображение передается на Землю по радиоканалам. К сожалению, отечественные сканерные системы пока характеризуются низким разрешением и мало пригодны для дешифрования геологических процессов. Однако о больших перспективах этого метода свидетельствуют успехи, достигнутые за последние годы в этой области в некоторых передовых капиталистических странах (Франция, США, Япония, Канада и др.). Наиболее совершенным из существующих является электронный сканер HRV, установленный на ресурсном французском спутнике СПОТ. Разрешение сканера составляет 10 м при полосе обзора (обеспеченной двумя одновременно действующими датчиками) 120 км. СПОТ позволяет выполнять глобальную съемку раз в 26 сут или же регистрировать несколько выделенных участков раз в 5—6 сут. Сканеры с разрешением 10—15 м сконструированы и в некоторых других странах. Съемка таким сканером может обеспечить уверенную фиксацию оползневых тел с теми или иными деталями, эрозионные формы, проявления большинства криогенных процессов, последствия землетрясений, крупные карстовые воронки и др. Не преодолен, правда, один недостаток — весьма ограниченная возможность стереоизмерений. Даже на снимках, полученных с помощью сканера системы СПОТ, точность стереоизмерений не превышает 10—15 м, а для уверенного дешифрования многих проявлений геологических процессов желательно осуществлять стереоизмерения с точностью до первых метров.

Тепловая съемка. Тепловая съемка, или, точнее, тепловое зондирование, выполняется в настоящее время в самолетном варианте. В современной практике используются две модификации этого метода: профильная и площадная. Профильный вариант позволяет измерять линейные характеристики тепловых аномалий и для изучения геологических процессов мало пригоден. Более перспективен площадной метод, позволяющий составлять тепловые карты, по которым можно определить форму и размеры объектов, с которыми связаны тепловые контрасты.

В Советском Союзе для тепловой аэросъемки используются ИК-радиометры системы ЛЭТИ и тепловизор "Вулкан". Основные параметры ИК-радиометра следующие: чувствительность не хуже 0,12 К, диапазон измерения температур от 0 до 45°С. Температурное разрешение тепловизора "Вулкан", имеющего два канала, следующее: для канала 3—5 мкм — 0,5—1°С, для канала 8—13 мкм — 0,25—0,5°С. Таким образом, по температурному разрешению он

заметно уступает ИК-радиометру. Кроме того, он не дает возможности делать измерения в значениях абсолютной температуры, а только позволяет выделить 10—12 градаций в пределах максимального перепада температур дневной поверхности.

Основной недостаток тепловой съемки, препятствующий широкому ее внедрению в практику инженерно-геологических исследований, связан с большой изменчивостью во времени регистрируемых тепловых полей. По мнению Б.В. Шилина, всесторонне изучившего возможности использования этого метода для различных геологических задач, "это определяет значительные трудности выполнения тепловой аэросъемки и использования ее материалов даже на качественном уровне интерпретации температурного поля" [7, с. 76]. Задача затрудняется еще тем, что «на температурном фоне всегда найдут отражение какие-либо группы "посторонних объектов", затрудняющих дешифрование». Тем не менее, несмотря на отмеченные трудности, Б.В. Шилину удалось получить с помощью тепловой съемки некоторые заслуживающие внимания результаты. Это относится в основном к геологическим процессам, связанным с изменением влажности пород или изменением положения уровня грунтовых вод. Так, например, им была получена очень четкая картина распределения влажности грунтов после осуществления дренажных мероприятий на крупном сельскохозяйственном массиве на северо-западе Европейской части СССР.

В последние годы тепловая съемка с успехом используется в пределах городских территорий и промкомплексов для определения мест аварий теплотрасс. По-видимому, возможности этого метода еще далеко не исчерпаны.

Радиолокационная съемка. Радиолокационная (РЛС) съемка, выполняемая в СВЧ-диапазоне, позволяет получить более обширную информацию, чем тепловая, но основные успехи применения этого метода также связаны с наблюдениями за изменениями влажности почвогрунтов и положения уровня грунтовых вод. Для этого используется РЛС-съемка в двух модификациях: пассивной и активной.

Пассивный метод основан на использовании зависимости между влажностью почвогрунтов и интенсивностью излучения в диапазоне волн 0,1—30 см. Излучение выражается радиояркостной температурой земной поверхности и фиксируется специальными приемниками. Продвигая измерения на разной длине волн, можно получить сведения о распределении влажности по глубине (от нескольких сантиметров до первых метров). Эффективное значение погрешности измерения влажности составляет около 3%.

Возможность определения уровня грунтовых вод с помощью этого метода зависит от величины минимального различного контраста радиояркостной температуры. Так, при $\Delta T = 1$ К глубина, на которой могут быть обнаружены грунтовые воды, составляет 2—4 м.

Институтом геологических наук АН УССР была разработана специальная методика по изучению влажности почвогрунтов и определению УГВ с помощью РЛС-съемки. Проверка, проведенная на площадях Киевского водохранилища, Северо-Крымского канала и

Магдалиновской оросительной системы, подтвердила эффективность ее применения для контроля за режимом полива земель, качеством дренирования, положением уровня грунтовых вод (в пределах первых двух метров). Положительной особенностью РЛС-съемки является ее всепогодность, повышающая возможность ее оперативного использования.

Активный метод отличается от пассивного измерением отраженной радиации, излучаемой специальными датчиками. В настоящее время в Советском Союзе эксплуатируется самолетный радиометр бокового обзора с линейным разрешением по азимуту 30—48 м и полосой обзора 15—30 км. Таким образом, по разрешению он заметно уступает АФС, получаемым в оптическом диапазоне. Регистрация информации осуществляется на фотопленку. Для использования в космическом варианте такая аппаратура непригодна, но быстрый прогресс в этой области позволяет надеяться, что в ближайшее время появится отечественная аппаратура в космическом варианте, не уступающая по геометрическому разрешению АФС. В США используются радиолокационные космические системы с синтезирующей аппаратурой (РСА), обладающие заметными преимуществами перед обычными РЛС-системами. Так, разрешение системы, действующей в США с 1978 г., составляет 25 м при ширине полосы обзора 100 км. Поснимкам РСА составляются фотокарты в масштабе 1:250 000 с геометрической точностью 0,5—1 мм, что удовлетворяет требованиям фонового мониторинга. Для составления карт более крупного масштаба можно использовать самолетные РСА, где разрешение составляет 5—10 м. Вопросы создания систем такого типа в теоретическом плане уже проработаны, но для их практической реализации понадобятся сложные технические разработки. По мнению специалистов, они могут быть завершены в течение одной пятилетки.

2. Геофизические методы

Аэрокосмические методы позволяют получить надежную информацию о динамике геологических процессов, которые можно наблюдать с воздушных или космических носителей. Но многие геологические процессы протекают в толщах горных пород, и поверхностные их проявления, если они и имеют место, дают лишь весьма приближенное представление о характере и масштабах явлений, развивающихся на глубине, и степени их опасности для окружающей среды и инженерных объектов. Кроме того, для составления прогнозов любого типа (детерминированных или стохастических) нужно располагать информацией об условиях и факторах, породивших геологический процесс и контролирующих его развитие: геологическом строении массива пород, подземных водах, составе и механических свойствах пород, параметрах физических полей и пр. Здесь необходимо использовать различные наземные методы и в первую очередь геофизические, обладающие некоторыми существенными преимуществами по сравнению с "контактными" способами получения информации, лежащими в основе большинства инженерно-геологических методов исследований. К числу преимуществ относится возможность:

а) менять в широких пределах по желанию исследователя вовлекаемые в эксперимент объемы породы (от долей кубических метров до миллиона и более); б) обеспечивать недостижимую для других методов пространственную плотность наблюдений; в) существенно снижать время, затрачиваемое на производство исследований, и их стоимость. В то же время геофизические методы, как правило, уступают "контактным" по точности и надежности определения требуемых характеристик: положения границ пластов, их мощности, показателей физико-механических свойств пород и др.

Возможности успешного использования геофизических методов при инженерно-геологических изысканиях и исследованиях можно обеспечить только в случае получения надежной первичной информации, тщательно продуманных методов ее обработки и интерпретации, а также рационального комплексирования геофизических методов между собой и с другими методами, используемыми в инженерной геологии [5].

Надежность и представительность первичной информации определяется совершенством измерительной техники и квалификацией использующих ее специалистов. Требования, предъявляемые к инженерно-геофизической аппаратуре, жестки и многоаспектны и могут быть выполнены только в результате значительных усилий конструкторов и разработчиков. Эти трудности усугубляются тем, что денежные ассигнования на инженерные изыскания, как правило, весьма ограничены и не идут ни в какое сравнение с затратами на разведку нефти, твердых полезных ископаемых, газа — основной области деятельности геофизиков. В связи с этим приходится в основном использовать аппаратуру и оборудование, применяемые при структурных исследованиях, картировочных работах, поисках и разведке полезных ископаемых, адаптируя их к специфическим нуждам инженерной геофизики. Только в самое последнее время в этом отношении наметились некоторые положительные сдвиги, главным образом в области создания сейсмических приборов и оборудования.

Следует прежде всего отметить 24-канальную малогабаритную широкополосную цифровую сейсмостанцию с накоплением ИСН-01-24, созданную по плану работ Интергеотехника (совместная разработка ВСЕГИНГЕО и венгерских предприятий) и поставляемую в страны — члены СЭВ венгерской стороной. В СССР разработана малогабаритная широкополосная 3-канальная сейсмостанция с накоплением СНЦ-3 ("Тальгар"). Завершается конструирование 12-канальной широкополосной компьютеризированной сейсмостанции ССЦС. Станция обеспечивает ввод и аналого-цифровое преобразование сейсмических сигналов, накопление их в памяти, встроенной в ЭВМ, предварительную обработку, отображение волновой картины на дисплее, запись в цифровой форме на кассетный накопитель и ввод в ЭВМ СМ-5 для дальнейшей обработки.

Широкий выбор разработанных по последнему слову техники сейсмических источников, сейсмоприемников и регистрирующей сейсмической аппаратуры предлагают западные фирмы: американские,

шведские, японские. Общим для всех новейших ее образцов является объединение регистрирующих и обрабатывающих устройств в единую систему.

Представляет интерес установка, выпускаемая французской фирмой "Всеобщая геофизическая компания", специально предназначенная для исследований под толщей асфальта и дорожного покрытия.

Хуже в СССР обстоит дело с парком электрометрической аппаратуры. До сих пор в геофизических партиях и отрядах в основном используются приборы общего назначения, многие из которых морально устарели и не отвечают современному уровню развития инженерной геофизики. С некоторой долей оптимизма можно оценивать перспективы развития отечественного приборостроения в рассматриваемой области на ближайшие годы. ВСЕГИНГЕО разработаны приборы и установки, в известной степени отвечающие основным современным техническим возможностям и требованиям. Они прошли успешное опробование в полевых условиях и находятся на различных стадиях готовности к запуску в серийное производство.

Разнообразные генераторы и регистрирующие приборы, позволяющие проводить измерения электрических сопротивлений и поляризуемости горных пород в условиях высокого уровня техногенных помех, выпускают канадские, шведские, западногерманские и японские фирмы. Привлекают внимание также установки для проведения наблюдений бесконтактными индукционными методами. Все они отличаются малыми габаритами и широким использованием компьютерной техники.

Тенденций разработки и выпуска для целей инженерно-геофизических исследований специальной гравиметрической и магнитометрической аппаратуры не отмечается.

При проведении наблюдений в инженерно-геологических скважинах приходится использовать каротажные станции общего назначения или же ориентироваться на установки, кустарно изготавляемые в некоторых организациях. Английские и японские фирмы выпускают легкие многоканальные установки для одновременной регистрации ряда электрических, сейсмических и ядерно-физических параметров при обследовании скважин глубиной до 100 м (в отдельных случаях до 600 м).

Важнейшим блоком в информационном геофизическом канале является блок интерпретации. В то же время специальный анализ вопросов интерпретации показывает, что первичные геофизические материалы содержат гораздо больше информации, чем та, которую реально используют (по некоторым данным, утилизируется лишь 7% информации). Таким образом, любое повышение эффективности специальной геофизической или инженерно-геологической обработки материалов наблюдений приносит больше пользы, чем проведение гораздо более дорогих дополнительных полевых работ.

Особенно актуальной представляется проблема интерпретации вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) — метода, на долю которого приходится, по крайней мере, половина всего объема инженерно-геофизических исследований. Для этой цели разработано много приемов как ручной, так и машинной интерпретации. Машинная

интерпретация характеризуется не только быстродействием, но позволяет, кроме того, оценивать точность совпадения экспериментальной кривой с теоретической, что очень важно при восстановлении многослойных разрезов. Кроме того, повышается эффективность использования дополнительной информации о разрезе, в результате чего возникает возможность получения более устойчивых решений.

В то же время в производственной практике на пути широкого использования машинной интерпретации лежит много трудностей, связанных подчас с недостатками предложенных алгоритмов и программ и неквалифицированным их использованием. При решении инженерно-геологических задач с положительной стороны зарекомендовала себя программа "МИДИ", разработанная А.А. Рыжовым (ВСЕГИНГЕО) и Н.В. Мыциком (геологический ф-т МГУ).

Интенсивно развиваются и машины методы интерпретации материалов исследований инженерной сейсмометрии. Они дали, в частности, возможность при прослеживании преломленных волн применить многократные перекрытия, обеспечивающие получение детальных временных разрезов. При межскважинном сейсмическом просвечивании применяют способ, основанный на использовании многовариантного решения прямой кинематической задачи с последующим подбором разреза по наблюденному волновому полю.

В последние годы был получен ряд интересных результатов применения геофизических методов для изучения геологических процессов в зонах интенсивного хозяйственного воздействия. В этом плане следует отметить работу, выполненную ПГО "Гидроспецгеология" и Всесоюзным научно-исследовательским геологоразведочным институтом, по изучению суффозионно-карстовых явлений в г. Москве (1978—1983 гг.). Был создан цифровой аппаратурно-методический комплекс, позволяющий проводить исследования в дневное время на улицах города без остановки транспорта и пешеходов, а также полностью автоматизировать весь процесс получения и обработки информации. Созданный комплекс представляет собой взаимосвязанную систему: источник колебаний—накопитель—сейсмостанция. Высокую помехозащищенность системы обеспечивает синхронное накопление сигналов со случайным распределением во времени. Источник сейсмических волн ударного типа одновременно с возбуждением сейсмических волн передает код (последовательность моментов удара), который поступает в цифровой накопитель-коррелятор, работающий в режиме ожидания. Для накопителя-коррелятора АНК-02 с памятью на твердотельных элементах были использованы серийные блоки (ОЗУ "Электроника-64-К-01"). Он позволяет обрабатывать в полевых условиях информацию, поступающую с интервалами, большими и меньшими длительности целевой записи (асинхронное накопление). Зарегистрированные сейсмоприемниками преломленные и отраженные волны также поступают в накопитель-коррелятор, где происходит их взаимная корреляция с последовательностью отметок — моментов удара. Итоговая запись автоматически переписывается на магнитный носитель серийной цифровой сейсмостанции "Прогресс".

При проведении инженерной сейсморазведки в Москве применялась

комбинированная система наблюдений, обеспечивающая суммирование по ОГТ отраженных (в том числе закритических) волн и по ОГП — преломленных волн. В зависимости от уровня градопромышленных шумов для одного физического наблюдения использовались 16—32 воздействия при 12—24-кратном накоплении методом ОГТ. Таким образом, впервые в отечественной практике в условиях крупного города были выполнены комплексные работы МОГТ и МПВ с эффективным накоплением большого числа малых воздействий. Внедрение современной многоканальной цифровой регистрирующей аппаратуры систем многократных перекрытий (МОГТ и ОГП) позволило эффективно использовать мощный математический аппарат специализированных систем обработки сейсмической информации на ЭВМ типа ЕС, в том числе специальные программы для обработки инженерно-геофизической информации. Созданный аппаратурно-методический комплекс дал возможность повсеместно проследить сейсмические горизонты, приуроченные к кровле карбонатных пород верейского яруса, и, кроме того, выявить особенности прохождения волн в толще известняков, которые связаны с изменениями состояния карбонатного массива. Были сформулированы основные признаки выделения зон интенсивной закарстованности и отдельных крупных карстовых полостей (погребенных карстовых воронок).

В результате выполненных исследований была составлена для карстоопасных районов северо-запада Москвы карта инженерно-геологического районирования по степени закарстованности верхней части массива карбонатных пород. Карты могут составляться для обоснования проектов застройки территории. Разработаны также рекомендации по комплексированию сейсморазведочных и буровых работ на различных стадиях проектирования.

Следует отметить также работы ВСЕГИНГЕО по изучению оползней Черноморского побережья Кавказа [2], в которых для определения глубины залегания и формы поверхности скольжения наряду с продольными и поперечными волнами был применен ультразвуковой каротаж (УЗК). Это позволило выделить с высокой точностью даже небольшие по мощности ослабленные зоны (поверхности скольжения), на которых скорость упругих волн не возрастает, а уменьшается.

Основной целью инженерно-геофизических исследований является построение физико-геологической модели (ФГМ) подлежащего исследованию массива горных пород. ФГМ — это максимально приближенное к реальным условиям, обобщенное и формализованное представление об основных геометрических и физических параметрах изучаемого объекта. Подобная модель дает возможность перехода от характеристик конкретного массива к образу групп массивов, обладающих сходными структурными особенностями, специфическими свойствами и состоянием пород, а также определенным распределением подземных вод и физических полей. При ее построении сложные по морфологии и вещественному составу геологические тела заменяются сочетанием геометрически простых объектов, ограниченных плоскостями или поверхностями второго порядка. При этом упрощается создание алгоритмов для решения на ЭВМ обратных геофи-

зических задач. Конкретно под ФГМ, создаваемой при инженерно-геофизических исследованиях, понимается модель геологической среды, в которой находит отражение: 1) пространственное положение геологических тел, включая в это понятие тектонические нарушения и геодинамические зоны; 2) положение поверхностей и зон раздела между горными породами, находящимися в различном состоянии (степень увлажнения, физическое состояние и т.д.); 3) количественная характеристика физико-механических и водно-физических свойств массива в целом и отдельных геологических тел (с учетом размеров инженерного сооружения); 4) данные об условиях залегания, динамики и минерализации подземных вод; 5) характеристика состояния и динамики физико-геологических процессов и явлений; 6) распределение и интенсивность природных и техногенных физических полей, влияние которых следует учитывать при строительстве и эксплуатации различных сооружений. Создание модели — многоэтапный процесс, основанный на принципах итерации, т.е. последовательного приближения к решению задачи. При этом, как правило, используется не один какой-нибудь геофизический метод, а их рациональный комплекс. В него целесообразно включать только методы, несущие взаимодополняющую (но не дублирующую) геологическую информацию. Чаще всего речь идет о сочетании различных электрометрических и сейсмоакустических методов.

Конкретно возможности комплексного подхода к решению инженерно-геологических задач могут быть пояснены на примере многолетних (1978—1984 гг.) работ, выполненных под руководством А.В. Калинина и В.В. Калинина, на акватории реки Москвы. Целью этих исследований являлось картирование регионального водоупора, представленного юрскими глинами, изучение верхней части карбонатной толщи, картирование древних речных долин и разрывных нарушений, нахождение зон повышенной фильтрации и решение некоторых других вопросов. Наблюдения методами непрерывного сейсмоакустического профилирования, электрических зондирований, естественного электрического поля, резистивометрии и термометрии велись одновременно с одного судна, двигавшегося со скоростью 8—10 км/ч.

Выполненные работы позволили дать ответ на ряд конкретных вопросов, связанных с изучением экзогенных геологических процессов и явлений на территории Московской агломерации. Было осуществлено, в частности, картирование регионального водоупора, характеризующегося низкими значениями электрических сопротивлений и малыми градиентами ПС, выделены четыре типа древних долин и ряд разрывных тектонических нарушений, установлена степень карстовой нарушенности кровли известняков (по расхождению гравий, определенных сейсмоакустическими и электрическими методами).

Можно полагать, что одним из основных направлений развития инженерной геофизики является развитие внутри- и межметодного комплексирования. Перспективно, например, совместное использование космо- и аэрогеологических наблюдений с наземными и скважинными геофизическими исследованиями, создающими своеобразную ин-

формационную этажерку. При этом материалы дистанционного дешифрирования выступают как двумерная (плоская) модель особенностей геологической среды, используемая в дальнейшем в качестве начального заданного условия при интерпретации данных геофизических исследований. В результате подобный многоуровневый анализ геолого-геофизической информации позволяет устанавливать как природу объектов, выявленных из космоса, так и пространственную их морфологию, а в случае режимных наблюдений — динамику развития.

Дальнейшие усилия как геофизиков, так и инженеров-геологов должны быть направлены на выработку общей идеологии решения задач, возникающих при изучении геологического пространства как среды обитания человека.

3. Наземные обследования и стационарные наблюдения

При изучении динамики геологических процессов дешифрирование КС и АФС (в том числе многократных залетов) должно дополняться наземными обследованиями территории и организацией стационарных наблюдений.

Обследования территории выполняются с определенной периодичностью, что позволяет зафиксировать все проявления геологических процессов и изменения в техногенной, геологической и ландшафтной обстановке, которые произошли между двумя обследованиями. Результаты наблюдений фиксируются на "дежурных картах" и заносятся в специальные таблицы. Перечень фиксируемых данных зависит от вида геологического процесса (парагенеза процессов), развитого на обследуемой территории, характера инженерного и хозяйственного освоения территории, особенностей ее геологического строения, ландшафтных и климатических условий. Работы такого профиля выполняются уже в течение многих десятилетий на территориях, подверженных интенсивному развитию геологических процессов. Ранее они были возложены на специальные станции, которые в настоящее время преобразованы в комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические партии, находящиеся в подчинении территориальных геологических организаций. Помимо наблюдений, на партии возложены и многие другие функции, вследствие чего этот вид работ оказался в ряде организаций отодвинутым на второй план. Методическое руководство работами осуществляется ВСЕГИНГЕО и некоторыми организациями республиканского подчинения. Методика обследований разработана в целом достаточно хорошо и накоплен большой и полезный опыт, отраженный в методических руководствах, инструкциях и многочисленных публикациях. За последние годы каких-либо существенных новаций в этой области не отмечается, поэтому остановимся здесь кратко лишь на двух моментах, которые, как нам кажется, заслуживают обсуждения.

Первый из них касается обследования зданий и сооружений, попадающих в зону влияния геологического процесса. Этим работам либо вообще не уделяется внимания, либо они выполняются

очень поверхностно и недостаточно грамотно. В методических руководствах они также рассматриваются очень кратко. Можно привести для примера в целом вполне удачное руководство "Изучение режима оползневых процессов", составленное ВСЕГИНГЕО и изданное в 1982 г. [2]. В нем нашли достаточно полное освещение все аспекты изучения оползневого процесса, но вопросу обследования зданий и сооружений посвящено лишь 2,5 страницы общих соображений с одним примером и не очень удачной классификацией.

В то же время обследование зданий и сооружений в зоне воздействия геологических процессов имеет большое практическое значение, так как наблюдающиеся деформации могут служить не только хорошим индикатором развития процесса, но и основой для оценки целесообразности применения тех "или иных типов и конструкций зданий и сооружений в данной геодинамической обстановке. Можно сослаться в этом отношении на работы кафедры инженерной геологии МГРИ, выполненные в 1984—1985 гг. на территории г. Большые Сочи. Этот город расположен, как известно, в пределах активной сейсмической зоны с интенсивностью 7—8 баллов, а в особенно неблагоприятных местах до 9 баллов. При этом значительная часть городской застройки, включая дома отдыха, пансионаты, санатории, гостиницы и другие здания общественного пользования, возведена на оползневых склонах. Строительство в городе ведется с соблюдением требований антисейсмического строительства, отвечающих расчетному значению сейсмичности, и здесь каких-либо претензий главному архитектору города или другим ответственным лицам предъявить нельзя. Однако выборочное обследование зданий показало, что некоторые из них, относящиеся по времени строительства в основном к довоенному периоду, заметно деформированы оползневыми процессами и потеряли в связи с этим свою монолитность и жесткость, что заметно ухудшило их динамические свойства. В таком состоянии им будет трудно противостоять сейсмическим воздействиям, отвечающим не только расчетной балльности, но и более слабым. Вопрос этот, несомненно, заслуживает серьезного внимания и, вероятно, не только для г. Большые Сочи, но и для многих других городов, где здания и сооружения подвергаются активному воздействию геологических процессов.

Второй вопрос близок к первому и касается обследования состояния защитных мероприятий и сооружений. В действующих руководствах ему вообще, как правило, не уделяется внимания (в том числе и в упомянутом ранее), хотя сбор, анализ и обобщение подобного рода материалов — это, по существу, главный способ оценить их эффективность и найти оптимальные решения для управления геологическими процессами в равной климатической и геологической обстановке.

Большое значение для составления обоснованных прогнозов и разработки методов управления имеют стационарные наблюдения. Этому вопросу последние годы уделялось много внимания в специальной литературе, но организационные и технические трудности, а также неупорядоченность финансирования не позволяют организо-

вать их в требуемых масштабах. Указанное относится в первую очередь к наблюдениям за режимом грунтовых вод. Как отмечалось ранее, подъем уровня грунтовых вод, связанный с различными антропогенными воздействиями, наблюдается в большинстве городов Советского Союза и нередко весьма активно (до 0,5—1 м в год). Особенno опасный характер этот процесс приобрел в южных городах страны, где он сопровождается, как правило, развитием многих других неблагоприятных геологических процессов: набуханием глин, просадкой лёссов, коррозийным воздействием воды на металл и бетон. Это вызывает массовые деформации зданий и сооружений, аварии водоводов, газо- и нефтепроводов. Размер прямых убытков и стоимость затрат на ремонтные и восстановительные работы в масштабах страны не подсчитывались, но, несомненно, они измеряются сотнями миллионов рублей. Тем не менее служба наблюдений за режимом грунтовых вод и сопутствующих процессов в стране до настоящего времени не организована, кроме ряда городов (Волго-Донск, Норильск), где она финансируется министерствами и ведомствами.

Большое значение имеет организация стационарных наблюдений за оползнями, селями, переработкой берегов водохранилищ, различными видами эрозии. Здесь также положение за последние годы не улучшилось, а скорее ухудшилось. Так например, если несколько лет тому назад наблюдения за переработкой берегов водохранилищ Волжского каскада были сосредоточены в Центральной гидрогеологической экспедиции Министерства геологии РСФСР, что обеспечивало единство методики и организации наблюдений и позволило создать на этой основе единую автоматизированную систему обработки данных и составления прогнозов, то разделение этих работ между рядом территориальных геологических организаций вернуло эти работы к состоянию, которое было два десятилетия назад. Убытки от бесконтрольной эксплуатации водохранилищ наносят большой ущерб народному хозяйству, и нет сомнения в том, что все работы этого профиля было бы полезно сосредоточить в одной организации, расширив ее функции на весь круг вопросов, связанных с изучением режима водохранилища (процессами переработки берегов, подтопления, заилиения, загрязнения), накоплением и переработкой информации, составлением прогнозов, выдачей рекомендаций проектным и другим организациям. Только при такой организации можно рассчитывать на проведение единой научной и технической политики и разработку эффективных методов управления водохранилищем и береговой зоной. В сходной ситуации в настоящее время находится изучение многих других процессов, таких, как оползни, сели и др., и здесь получение и накопление информации с применением разных методик делает невозможной коренную перестройку процесса ее обработки на основе широкого применения ЭВМ и современных математических методов. Возможно, решение этой проблемы следует искать в создании специального научно-производственного объединения по изучению геологических процессов с организацией на месте работ станций, партий или отрядов, или в соответствующем расширении функций и структуры ВСЕГИНГЕО.

Выводы

1. Экстенсивное развитие народного хозяйства СССР в последнее десятилетие, его ведомственная структура, недостаточное внимание к проблемам природопользования, узкопредметный характер организации науки, низкое качество строительных работ, нарушение правил эксплуатации сооружений и ряд других причин привели к интенсивному развитию экзогенных геологических процессов, многие из которых приобрели региональный или массовый характер и наносят большой ущерб народному хозяйству.

2. Контроль за развитием геологических процессов, прогноз их развития, осуществление профилактических и защитных мероприятий приобрели в настоящее время характер одной из наиболее важных и актуальных задач государственного масштаба.

3. В основу изучения геологических процессов должен быть положен структурно-системный подход, трактующий выделяемые при изучении объемные участки литосферы как открытые динамические системы, взаимодействующие с техногенными объектами (город, промкомплекс и пр.) и другими сферами Земли. Такой подход позволяет выделить и изучить все основные виды взаимодействий, способствующих возникновению и контролирующих развитие геологических процессов.

4. Для изучения динамики геологических процессов необходима организация мониторинга — постоянно действующей системы наблюдений, реализуемых на нескольких уровнях и основанных на использовании широкого комплекса методов и технических средств. В настоящее время в Советском Союзе осуществляется межведомственная программа по разработке Аэрокосмического мониторинга геологической среды, рассчитанная на получение в предельно сжатые сроки информации о развитии геологических процессов, необходимой для планирования мероприятий, связанных с природопользованием.

5. Ведущая роль в изучении динамики геологических процессов принадлежит аэрокосмическим методам. Большие перспективы создает применение сканерной съемки в оптическом диапазоне и радиолокационной съемки, но для доведения их до нужных параметров требуется постановка специальных сложных технических разработок.

6. Широкое применение при изучении геологических процессов могут найти геофизические методы. В последние годы в этой области наметился заметный прогресс, особенно в инженерной сейсморазведке. Создана аппаратура, позволяющая проводить исследования в пределах городских и промышленных территорий в условиях высокого уровня помех. Получены интересные результаты по изучению карста в г. Москве. Особого внимания заслуживает комплексирование геофизических методов между собой и с другими методами исследований.

7. Большое место в комплексном изучении геологических процессов должно быть отведено стационарным наблюдениям, но неудачные формы организации, управления и финансирования этих видов работ резко снижают их эффективность. Это обстоятельство являет-

ся одной из причин несвоевременного осуществления профилактических и защитных мероприятий и широкого развития геологических процессов на освоенных территориях. Здесь требуется серьезная организационная перестройка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов Б.В. Аэрокосмические методы в экологическом прогнозе // Природа. 1985. N 6. С. 13—23.
2. Изучение режима оползневых процессов. М.: Недра, 1982. 250 с.
3. Захаров Ю.Ф. Инженерно-геологический мониторинг объектов газовой промышленности. М., 1985. 77 с. (Обзор. информ. Сер. Геология и разведка газовых и газоконденсат. месторождений; Вып. 13).
4. Кофф Г.Л. К обоснованию региональных систем литомониторинга // Режимные инженерно-геологические и гидрологические наблюдения в городах. М.: Наука, 1983. С. 6—11.
5. Методы геофизики и гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недра, 1985. 184 с.
6. Осипов Ю.Б. Литомониторинг и рациональное использование геологической среды. М.: Акад. нар. хоз-ва при Совмине СССР, 1986. 113 с.
7. Шилин Б.В. Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 247 с.

УДК 556.3:624.131

В.А. Мироненко, С.Е. Гречищев, Б.В. Смирнов, В.М. Шестаков
**Проблемы прогнозирования
изменений геологической среды
под влиянием техногенных воздействий**

Усиление техногенного воздействия на геологическую среду привело к резкому ужесточению требований к гидрогеологическим, инженерно-геологическим и геокриологическим прогнозам как в смысле точности и надежности применяемых методов, так и в плане полноты и качества исходной информации. Последняя при этом объективно оказывается обычно наиболее узким местом на путях прогнозирования, что, впрочем, не приижает значения и собственно методов прогнозирования, особенно с учетом субъективного фактора — недостаточной подготовленности массового исполнителя к решению сильно усложнившихся прогнозных задач. Ключевое место здесь занимает схематизация изучаемых техногенных процессов, требующая от исполнителя не только соответствующей степени образованности, но и умения выйти за рамки ремесленного профессионализма, проявить свое индивидуальное мастерство, в частности, путем экспертных оценок. Кстати, по уровню понимания значимости вопросов схематизации в общей проблеме прогнозов сейчас наметились существенные различия между гидрогеологами, с одной стороны, инженерами-геологами и геокриологами — с другой. Эти различия усугубляются и более высоким в среднем качеством

гидрогеологической информации в сравнении с инженерно-геологической и геокриологической¹, для чего имеются свои объективные причины. Отметим еще слабую механико-математическую подготовку многих инженеров-геологов и геокриологов, явно недостаточное усвоение ими принципов и методов механики грунтов (горных пород). Все это нашло отражение в существенных различиях подходов к прогнозированию изменений геологической среды под влиянием техногенных воздействий, хотя, конечно, эти различия во многом происходят из характера изучаемых процессов. Впрочем, значение подобных различий не стоит и слишком преувеличивать: можно напомнить, например, сколь эффективным оказался единый гидро-геомеханический подход [13] к решению задач, стоящих на стыке гидрогеологии и инженерной геологии.

Наиболее важными общими условиями обеспечения необходимого качества прогнозов являются: системный подход к решению связанных с этим задач, перманентность процесса прогнозирования и его адаптационный характер, установление обратной связи прогнозов с системой технических решений [18]. Реализация системного подхода предполагает, в частности, выделение и исследование природно-технических геосистем [17], отдельные элементы которых взаимодействуют на разных иерархических уровнях, таких, например, как залежь полезного ископаемого—добычной механизм, месторождение полезного ископаемого—система горных выработок шахты или карьера, горнорудный (угленосный) район—горно-обогатительный комбинат. На этой основе решается, в частности, важная проблема перехода от регионального масштаба прогнозов к локальному. Необходимость непрерывного и адаптационного осуществления прогнозов применительно к природно-техническим геосистемам обусловлена неизбежной изменчивостью во времени как природных условий и техногенных воздействий, так и соответствующих информационных представлений: отсюда — потребность в периодической корректировке прогнозов с учетом новых обстоятельств. Тем самым устанавливается гибкая информационная связь прогнозов с планами и техническими проектами, когда результаты прогнозирования оперативно используются в процессе принятия решений, а последние всесторонне учитываются при корректировке прогнозов. Реализация этих важнейших принципов особенно эффективна в условиях мониторинга геологической среды, в том числе с использованием комплекса аэрокосмических, дистанционных и наземных методов исследований.

Наиболее плодотворными и разработанными для целей прогноза повсеместно оказались принципы и методы механики сплошной среды, которые реализуются как в детерминированной, так и (реже) в вероятностно-детерминированной постановке: в последнем варианте, по сути, имеют дело с физически обоснованными вероятностными

¹ Проводя подобные сопоставления, заметим, что нам меньше всего хотелось бы, чтобы настоящий доклад обернулся механическим сложением перечней достижений в области гидрогеологии и инженерной геологии: эти родственные науки должны, кроме всего прочего, "питать" друг друга.

моделями, в которых исходные дифференциальные уравнения процесса модифицируются путем стохастического представления входящих в них коэффициентов и/или краевых условий [22]. Если сопоставлять соответствующие две группы моделей, то нужно признать за детерминированными доминирующее практическое приложение при изучении конкретных прогнозных задач; модели второй группы обычно не обеспечены необходимой входной информацией и остаются поэтому преимущественно объектом для исследования типовых гидрогеологических или инженерно-геологических ситуаций, а также для много-вариантных или диапазонных оценок. Исключение может представить прогноз поведения сложных, малоизученных систем на опытно-эксплуатационном уровне: в этом варианте часто вполне уместно сугубо стохастическое описание объекта с помощью регрессионной модели — эквивалента соответствующей функции влияния. Впрочем, возможности и разумные рамки такого подхода подчас неоправданно расширяются, в результате чего подобные вероятностные модели оказываются на практике крайне ущербными.

В противовес моделям сплошной среды, требующим для своего применения достаточно высокого уровня осреднения характеристик порового или трещинного пространства (масштаб рассмотрения задачи превышает элементарный репрезентативный объем), используются модели, учитывающие конкретные индивидуальные характеристики трещин. Однако их практическое приложение в прогнозных оценках опять-таки решающим образом лимитируется недостатком необходимой исходной информации, так что, за исключением прогнозов на опытно-эксплуатационном уровне, такие модели ограничиваются анализом типовых ситуаций. При этом наиболее важным моментом является обоснование возможности и пределов перехода к моделям сплошной среды.

Теоретические модели и методы гидрогеологических прогнозов. Техногенные воздействия на подземные воды сводятся к изменениям в гидродинамике и в качественном их составе, что позволяет подразделить прогнозы на геофiltрационные и миграционные. Первое из этих направлений можно считать к настоящему времени наиболее разработанным в теоретическом отношении — до уровня, удовлетворяющего подавляющему большинству практических запросов, по крайней мере, пока речь идет о зоне насыщения.

Геофильтрационные прогнозы. Основой решения широкого круга задач является плановая модель, отображаемая линейными двумерными уравнениями геофильтрации. Для исследования соответствующих прогнозных задач разработан эффективный аналитический аппарат, базирующийся на принципе суперпозиции и на интегральных преобразованиях (в первую очередь Лапласа или Лапласа—Карлсона); при расчетах систем скважин с большим успехом используется метод эквивалентных фильтрационных сопротивлений [23], учитывающий локальный характер деформаций фильтрационного потока и позволяющий понизить тем самым размерность задачи. Принципиальным достижением инженерной гидрогеологии явилось исключительно широкое внедрение в практику прогнозов математического

моделирования — аналогового, а в последнее десятилетие — численного. В результате можно, пожалуй, утверждать, что формальные аспекты решения большей части практических задач сейчас не вызывают принципиальных затруднений.

Особого разговора заслуживают трехмерные и нелинейные задачи. Первые являются в практической гидрогеологии не слишком частым явлением: в подавляющем большинстве случаев корректная схематизация позволяет избавиться от трехмерности. Наиболее характерным примером противоположного свойства является прогноз работы систем несовершенных скважин в мощных водоносных комплексах вблизи водотоков и водоемов, когда удаление скважин от последних соизмеримо с мощностью пласта. Прямолинейный подход — моделирование подобных задач на трехмерной сетке — оказывается, как правило, малоэффективным из-за резкой разномасштабности отдельных ее элементов. Поэтому наиболее плодотворным здесь является разумное сочетание двумерного моделирования и аналитических методов, позволяющих учсть локальную трехмерность [8]. В этой связи можно заметить, что подобное сочетание вообще должно быть нормой, а не исключением². Между тем в последние годы под влиянием успехов численного моделирования многие специалисты оказались в состоянии своего рода кибернетической эйфории и практически полностью позабыли о широких возможностях аналитических методов; в конечном счете это приводит к неумению правильно схематизировать процесс и к дисквалификации специалиста.

Наиболее сложные прогнозные проблемы ставят процессы, схематизация которых не позволяет избавиться от нелинейности, — напорно-безнапорная фильтрация, процессы постепенного истощения водоносных пластов и др. Для подобных задач, обычно не имеющих аналитических решений, приходится ориентироваться почти исключительно на численное моделирование, причем ненадежность экономичных разностных методов вынуждает использовать медленно сходящиеся, полностью неявные разностные схемы.

Существенное развитие исходной плановой модели связано со стохастическим представлением входящих в нее параметров: при наличии соответствующей информации об их пространственном распределении тем самым осуществляется переход к физически обоснованной вероятностно-детерминированной модели. Решение для нее отыскивается методом малых возмущений [22] или, в более общей постановке, методом Монте—Карло на численных моделях [8]. При этом, однако, необходимость многовариантных оценок предъявляет исключительно высокие требования к счетной эффективности программ, которым удается удовлетворить лишь в рамках экономичных разностных методов, основанных на принципах расщепления [10]. Именно на такой базе удалось получить ряд интересных результатов в рамках имитационного моделирования условий проведения

² В частности, особенно широкие возможности открывает применение к исходному уравнению различных интегральных преобразований с последующим численным моделированием задачи в изображениях и/или численным переходом к оригиналу.

опытных опробований водоносных систем [8]. При исследовании чисто прогнозных задач аналогичный формальный аппарат может с успехом использоваться для анализа чувствительности, однако более широкие практические приложения здесь сдерживаются отсутствием достаточно качественной вероятностной информации; в этом плане определенный интерес представляет стохастическая интерпретация результатов решения обратной геофiltрационной задачи [25] для данного конкретного объекта.

При наличии данных о гидродинамических возмущениях, носящих опытно-эксплуатационный характер, в принципе можно попытаться обойтись без фильтрационной расшифровки изучаемого поля, строя по этим данным соответствующие регрессионные уравнения. Такой подход особенно правомерен при неразвитой сети режимных скважин, что характерно, например, для осваиваемых геотермальных месторождений. К сожалению, часто приходится сталкиваться с некорректной структурой уравнений регрессии (преимущественно линейных), никак не учитывающей физические связи между искомой функцией (напором, расходом потока) и ее аргументами (фильтрационными параметрами и др.); такие уравнения дают неприемлемый результат при их распространении за пределы зон влияния опытных возмущений, давших эмпирический материал для обоснования уравнения регрессии.

Вопрос о масштабах возмущения, точнее, о масштабе рассмотрения может принимать кардинальное значение в крупноблочных трещиноватых породах, где в определенных инженерных ситуациях может не выполняться предпосылка о сплошности среды. Практически единственная альтернатива для таких ситуаций — опытно-эксплуатационный подход, ибо, как показало численное моделирование [24], попытки использования в качестве эквивалентных сред моделей одиночных или параллельных трещин неограниченной протяженности обычно некорректны. Более того, для таких условий может вообще не существовать однозначного (не зависящего от масштаба и характера потока) значения эквивалентной проницаемости среды [24]: это значение определяется, в частности, преобладающей ориентацией потока и даже его (средним) градиентом и может оказаться совершенно разным, например, для линейного и радиального потоков или для прогнозов напоров, с одной стороны, и расходов — с другой.

Заканчивая на этом краткий анализ теоретических моделей геофiltрации, необходимо подчеркнуть, что точность и надежность проводимых на их основе прогнозов решающим образом определяются качеством исходной информации. Эта общая позиция ужесточается еще и потому, что даже большой объем исходной информации, полученной в ходе опытно-фильтрационных опробований, порой вовсе не исключает возможности крупных ошибок в прогнозах вследствие масштабных эффектов и несоответствия структуры потока в опытных и прогнозных условиях [24]: здесь скрыта еще одна важная проблема прогноза — переход от локальных параметров пласта к интегральным [14]. Поэтому систематическое изучение вопросов достоверности и надежности прогнозов пока наиболее разумно оставить за имитационным моделированием.

Геомиграционные прогнозы. Теоретические модели миграционных процессов получили сейчас значительное развитие при количественном описании формирования качественного состава подземных вод; они включают модели переноса и физико-химических трансформаций, причем последние должны учитывать обмен между фазами и превращения в жидкой фазе: только при взаимном согласовании частных моделей указанных процессов возможно построение достаточно представительной прогнозной базы. Модели гидрохимических превращений в подвижной жидкой фазе только начинают разрабатываться [9], и здесь требуется поиск оптимальных по сложности — для конкретных гидрогоехимических обстановок — теоретических описаний, хорошо состыкованных с описаниями моделей переноса и обмена. Основные трудности последних связаны с учетом реальной гетерогенности водоносных пород, с выделением закономерной и стохастической изменчивости параметров переноса и обмена.

В конечном счете получают те или иные расчетные схемы макродисперсии [9, 12], для линейных модификаций которых с помощью аппарата интегральных преобразований и принципа суперпозиции найдены аналитические решения конкретных краевых задач. Наиболее распространены на практике решения для трех асимптотических расчетных схем: неограниченной емкости, сосредоточенной емкости и предельной схемы макродисперсии (квазигомогенная схема) [12, 23]. Как эти, так и более общие модели широко исследуются численными методами³, хотя до сих пор и не удалось избежать всех трудностей моделирования, связанных с численной дисперсией и осцилляциями [10]. При необходимости же учета плотностной дифференциации жидкости даже численное моделирование пород оказывается порой недостаточно эффективным.

Прогнозирование геомиграционных процессов на основе детерминированных моделей представляется наиболее практическим и важным, поскольку эти процессы обычно развиваются очень медленно во времени и довольно сложно в пространстве, так что их количественное описание на основе моделей "черного ящика", как правило, оказывается нереальным; то же можно сказать и о вероятностно-детерминированных моделях, крайне редко обеспеченных исходной информацией⁴. В целом нельзя утверждать, что уже сейчас геомиграционное моделирование может уверенно служить для количественного прогнозирования всех гидрогоехимических процессов: это связано со сложностью и недостаточной разработкой различных аспектов построения геомиграционных моделей, особенно в условиях реальной геофiltрационной неоднородности пород, пластов и массивов. Принципиально ясно, что в моделях переноса различно реализуются, с одной стороны, гетерогенность пород, входящая тем или иным

³ Аналоговые модели здесь мало пригодны.

⁴ Единственным, пожалуй, исключением являются слоистые водоносные пласты, в которых на основании индикаторных запусков реально могут быть установлены закон и параметры вертикального распределения проницаемости.

образом непосредственно в дифференциальные уравнения переноса, а с другой стороны, слоистость⁵ и плановая региональная неоднородность, учитываемые в задании пространственного распределения параметров процесса. Существуют некоторые разногласия и по поводу способов учета гетерогенности пород: в исходных дифференциальных уравнениях используются две разные модели (диффузионная и гетерогенно-блочная), а слоистость пласта предлагается учитывать непосредственно или включать в коэффициент дисперсии [9].

Для совершенствования теоретических моделей обменных процессов решающее значение имеет разработка такой методики определения параметров обмена (сорбции, выщелачивания и т.п.), которая могла бы учитывать физико-химическую неоднородность горных пород и воды и вместе с тем была бы достаточно простой для практического использования. При этом надо учитывать, что кинетика обменных процессов существенно зависит от "запечатанности" рассматриваемых мигрантов в твердой фазе. Таким образом, главной проблемой здесь остается развитие полевых способов оценки характеристик геофiltрационной неоднородности для обоснованной ее схематизации [9, 12].

Роль схематизации в миграционных прогнозах можно без натяжек назвать исключительной: по сути дела, именно ею определяется в подавляющем большинстве случаев качество прогноза [12]. Важнейшим аспектом при этом является схематизация фильтрационного поля, которая должна обычно проводиться с гораздо большей детальностью, нежели в геофильтрационных построениях⁶; кроме того, часто недопустимо пренебречь влиянием на это поле плотностной дифференциации растворов [12]. Что же касается схематизации собственно процессов переноса, то главные ее направления сводятся к оценкам допустимости:

пренебрежения кинетикой обменных процессов путем отражения последних в обобщенных емкостных параметрах;

предпосылки того, что миграция отдельных компонентов раствора взаимно независима и окислительно-восстановительная обстановка по ходу миграционного процесса неизменна;

сведения расчетной модели к одной из упомянутых ранее асимптотических расчетных схем макродисперсии;

понижения мерности модели переноса до двумерной и даже одномерной.

При проведении всех этих операций, конечно, приходится сталкиваться с хроническим дефицитом исходной информации: здесь положение в среднем намного хуже, чем при решении геофильтрационных задач.

Практические примеры и результаты гидрогеологического прогнозирования

Гидрогеология в горном деле. Пожалуй, наиболее интерес-

⁵Заметим здесь, что схематизация среды системой выдержаных по простианию слоев часто является на практике слишком сильной идеализацией.

⁶Нередко к тому же проницаемость среды меняется по ходу миграции.

ные примеры связаны с решением гидрогеомеханических задач и проблемой охраны подземных вод.

Из задач гидрогеомеханики в горном деле, разработанных за последнее время до уровня действующих методических рекомендаций, отметим [10, 14]:

1) исследование общей устойчивости обводненных откосов, выявившее, в частности, решающее влияние на нее напорного пласта в подошве откоса;

2) анализ локальных фильтрационных деформаций, доказавший, в частности, несостоятельность многочисленных утверждений о супфазионной природе тех или иных оползневых явлений;

3) обоснование дренажа как метода обеспечения устойчивости бортов карьеров, позволившее разработать критерии целесообразной степени осушения горных выработок;

4) прогнозы осадки толщи горных пород при глубоком водопонижении и разработка на их основе рекомендаций по устойчивости крепи шахтных стволов;

5) изучение условий безопасной выемки полезных ископаемых (при развитии техногенной трещиноватости) под водными объектами, позволившее извлечь из целиков громадные объемы ранее законсервированного минерального сырья;

6) прогноз рассеивания избыточного порового давления в тела отвалов и гидроотвалов и обоснование рекомендации по их устойчивости или повторному наращиванию;

7) прогноз эффективности нагнетания воды в удароопасные пласты как метода борьбы с горными ударами.

Во всех этих направлениях гидрогеомеханический подход [14], рассматривающий фильтрацию и деформации горных пород в рамках единых методологических построений, подтвердил свою безусловную эффективность.

Проблема охраны подземных вод от загрязнения в горнодобывающих районах подвергалась в последние годы особенно тщательному анализу [11, 12]. Прогнозы миграции в техногенных условиях велись для двух типовых ситуаций:

1) загрязнение дренажных вод от поверхностных бассейнов промстоков (плановая миграция);

2) субвертикальное подтягивание к горным дренажам глубинных рассолов естественного генезиса.

Первая из названных ситуаций изучалась на карьерах Курской магнитной аномалии (КМА) [11], где прогнозными оценками доказана возможность широкого использования дренажных вод для питьевого водоснабжения. Гораздо более сложными для анализа оказались условия Соликамско-Березниковского горно-промышленного района. Здесь в прогнозах засоления подземных и связанных с ними поверхностных вод (техногенными стоками шламохранилищ) удалось учесть спектр многообразных факторов — плотностную конвекцию, гетерогенность водоносных пород, ионный обмен, развитие техногенной трещиноватости, рост проницаемости экранов в результате постепенного засоления и др.; это оказалось возможным

в первую очередь благодаря интерпретации данных опытных работ и главное режимных наблюдений. В итоге были даны представительные прогнозные оценки⁷ и обоснован комплекс водоохранных мероприятий.

Вторая ситуация характерна для глубокозалегающих месторождений. При этом, как правило, проектные решения не предусматривают откачки больших объемов рассолов, так как глубины естественного залегания последних как будто исключают их активное участие в дренажном водовороте. В результате сброс непредвиденно больших объемов откачиваемых рассолов (тысячи м³/год) превращается в важнейшие экологическую и экономическую проблемы. Примеры тому дает опыт осушения Южно-Белозерского и Коршуновского железорудных месторождений или Якутских алмазоносных месторождений. Опыт показывает, что надежный прогноз требует здесь, кроме всего прочего, наличия данных о вертикальной проницаемости пород в подошве горных выработок, параметры которой, как правило, не определяются при разведке месторождения.

Неопределенность исходной информации по проблеме вынуждает в большинстве реальных ситуаций ориентироваться при ее решении на опытно-эксплуатационный подход в рамках концепции контролируемого загрязнения подземных вод [12]; последняя базируется на последовательном уточнении прогнозных оценок с учетом данных мониторинга подземных вод.

Мелиоративная гидрогеология. Эффективность мелиоративно-гидрогеологических работ определяется в первую очередь их целенаправленностью на решение конкретных задач, связанных прежде всего с обоснованием мелиоративного дренажа. При этом надо иметь в виду различия в требованиях к выявлению геофильтрационного разреза, возникающие при устройстве различных видов дренажа: на работу вертикального дренажа наибольшее влияние оказывает обычно проводимость первых от поверхности водоносных пластов и проницаемость разделяющих пластов, а на эффективность горизонтального дренажа решающее влияние нередко оказывает строение и проницаемость покровного пласта супесчано-суглинистых отложений. Более детальное обоснование целенаправленности полевых мелиоративно-гидрогеологических работ (изысканий) должно проводиться на базе разведочных расчетов, которые обязательно должны выполняться уже при составлении проекта полевых работ. Специфичной для мелиоративно-гидрогеологических работ является необходимость задания ирригационного питания (ИП), поскольку мелиоративный дренаж обычно рассчитывается на условия отвода ирригационных вод. Величина ИП может быть получена только по данным специальных режимных наблюдений на объектах-аналогах. К сожалению, пока таких данных совершенно недостаточно для обоснованного прогнозирования ИП в различных мелиоративно-гидрогеологических условиях, несмотря на зна-

⁷ Характерно, в частности, что прогнозы выявили резко повышенную длительность обратного процесса — рассоления водоносного пласта, еще раз доказав, что профилактика здесь многократно дешевле, чем борьба с развитым загрязнением гидросферы.

чительные по объему режимно-балансовые наблюдения, проводимые специальными службами Мингео и Минводхоза СССР. Такое положение явно свидетельствует о недостатках в работе этих служб, связанных с упущенными в целенаправленности и методическом обосновании режимно-балансовых наблюдений.

В настоящее время значительная часть мелиоративных работ связана с реконструкцией мелиорируемых территорий. В таких случаях решающее значение имеет мониторинг подземных вод, связанный с постоянно действующими гидрогеодинамическими моделями (ПДМ). Эти модели должны быть гибкими, их структура должна меняться в зависимости от решаемых задач (вида и расположения дренажа, размера изучаемого потока).

На орошаемых территориях существенные особенности возникают при проведении поисково-разведочных работ для обоснования использования подземных вод. Эти особенности связаны с тем, что в таких случаях основными оказываются мелиоративные задачи, поскольку водозаборные скважины здесь главным образом играют роль вертикального дренажа, а используемый водоотбор получается как следствие достижения необходимого мелиоративного эффекта. Поэтому задачи использования подземных вод на орошаемых территориях должны решаться в тесной увязке с мелиоративными задачами. Между тем эта позиция находится в противоречии с принятой организацией гидрогеологических работ, выполняемых подразделениями геологической службы, поскольку такие работы сейчас ориентируются прежде всего на оценку эксплуатационных запасов подземных вод. Обуславливается такое положение прежде всего тем, что основная апробация материалов гидрогеологических работ проводится ГКЗ, которая, хотя и требует при оценке эксплуатационных запасов для орошения обосновывать мелиоративный эффект, однако это требование обычно рассматривается как второстепенное по сравнению с обоснованием возможностей водоотбора. Осложняется эта ситуация также тем, что задание на проведение таких гидрогеологических работ геологическими организациями выдается водохозяйственными организациями перед началом разведочных работ, когда, как правило, еще не решены даже основные позиции проекта мелиоративных мероприятий. Вместе с тем из-за ведомственной разобщенности оказываются затруднительными (а зачастую и нереальными) уточнение и конкретизация постановки гидрогеологических работ, в связи с чем обоснование использования подземных вод проводится с учетом водохозяйственной обстановки, существенно отличной от проектной.

Нормализация этого дела требует, разумеется, проведения определенных организационных мероприятий, во-первых, по улучшению связи геологических и мелиоративных организаций и, во-вторых, по порядку утверждения и оценки результатов гидрогеологических работ.

Ведомственная разобщенность проявляется и в проведении мелиоративно-гидрогеологической съемки масштаба 1:50 000. Несмотря на разработанность ее методических положений ведущими научными организациями (ВСЕГИНГЕО, ВНИИГиМ), материалы этих съемок оказы-

ваются мало информативными из-за слабой целенаправленности, отсутствия обратной связи с проектированием мероприятий. И, хотя, согласно методическим руководствам, материалы мелиоративно-гидро-геологических съемок должны как будто давать полное гидрологическое обоснование мелиоративного строительства, тем не менее на территориях проведения этой съемки не удается сколь-нибудь существенно сократить объем геологических изысканий при проектировании.

Проблемы инженерно-геологических прогнозов. Теория и методология инженерно-геологического прогнозирования с учетом техногенных факторов, по существу, находятся в стадии становления. Наибольшая часть имеющихся разработок относится к прогнозированию сравнительно простых процессов и явлений. Обычно принято выделять и раздельно прогнозировать вначале элементарные техногенные процессы, определяющие изменение конкретных показателей состояния массива горных пород, а затем сложные инженерно-геологические процессы, возникающие в результате взаимодействия комплекса элементарных процессов на разных иерархических уровнях. Примером сложных инженерно-геологических процессов и относящихся к ним опаснейших техногенных явлений может служить крупнейший Загасан-Атчинский оползень в Узбекистане, где под влиянием системы элементарных процессов, выразившихся в создании подземных полостей, изменения крутизны склонов, пригрузке последних породными отвалами, снижении механической прочности пород, изменениях режима и химического состава подземных вод существенно нарушилось природное равновесие и началось оползание огромной (около 2 млрд т) массы горных пород [15].

Для прогнозирования относительно простых, элементарных процессов применимы методы детерминированных и вероятностных расчетов, моделирования, аналогии и другие, достаточноочно прочно утвердившиеся в инженерной геологии [1, 19].

Реализация идей инженерно-геологической аналогии в рассматриваемой области имеет скорее вспомогательное, но тем не менее вполне принципиальное значение. В настоящее время достаточно остро ощущается необходимость рационального группирования природно-технических геосистем по совокупности таких существенных признаков, как характер и интенсивность воздействия на геологическую среду, виды, направленность и масштабы ее техногенных изменений. Основной конечной целью такого группирования (классификация, типизация) следует считать правильное определение задач литомониторинга, рациональное комплексирование методов исследований, выбор оптимальных методов инженерно-геологического прогнозирования с учетом специфики конкретных природно-технических геосистем, относящихся к различным типам. Основываясь на классификации объектов, для решения тех же задач можно осуществлять районирование территорий. Вместе с тем следует подчеркнуть, что возможность непосредственного использования классификаций для получения прогнозов, вопреки представлениям довольно большого числа исследователей [6], является мало перспективной, посколь-

ку при учете даже относительно небольшого числа факторов и признаков классификационные схемы становятся чрезвычайно громоздкими и, как правило, практически неработоспособными в рассматриваемом нами аспекте. Конечно, принцип аналогии осуществляется в той или иной степени и форме при реализации практически всех прогнозистических методов, но прямая аналогия возможна лишь в некоторых наиболее простых случаях.

Существенно более конкретные возможности прогнозов связаны с использованием расчетных моделей. Так, предложено большое количество детерминированных по своей сущности, аналитических и близких к ним эмпирических математических моделей, большинство из которых основывается на анализе соотношения сдвигающих и удерживающих сил, действующих в массиве горных пород, и позволяет количественно оценивать возможность образования оползней. Подобным же образом дело обстоит и с прогнозированием сдвижения земной поверхности вследствие образования в недрах различного рода искусственных полостей. В этом случае для расчетов используются хорошо изученные законы и закономерности формирования мульды сдвижения, позволяющие достаточно уверенно прогнозировать величину оседания дневной поверхности с комплексным учетом формы и размеров выработанного пространства, элементов залегания слоев в осадочных толщах, глубины расположения полостей, механических свойств горных пород и других геологических и технологических факторов [20]. Для прогнозирования элементарных инженерно-геологических процессов на основе детерминированного подхода могут использоваться результаты физического моделирования этих процессов, позволяющего воспроизводить на моделях из естественных или искусственных материалов (например, оптически активные вещества) техногенные изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, их механических и других свойств при различных сочетаниях природных и антропогенных факторов.

Вероятностный подход дает наилучшие результаты при прогнозировании как слабо изученных элементарных, так и некоторых сложных инженерно-геологических процессов, регулируемых достаточно обширным комплексом факторов и обычно не поддающихся схематизации в виде детерминированных моделей. В настоящее время отчетливо оформились и успешно применяются в практике инженерно-геологического прогнозирования различные варианты алгоритмов вероятностного распознавания, регрессии и статистической экстраполяции [19]. Первая из названных групп алгоритмов базируется на построении и использовании статистических моделей, так или иначе выраждающих условную вероятность возникновения и возможной интенсивности подлежащих прогнозированию процессов при наличии комплекса поддающихся непосредственной оценке показателей. Весьма эффективно проявили себя [19] методы вероятностного распознавания, основанные на статистической проверке гипотез: они могут успешно применяться для учета техногенных факторов и прогнозирования различных видов деформаций подземных горных выработок, возникновения внезапных выбросов угля с газом, самовозгорания

углей, интенсивности переработки берегов водохранилищ, оползневых и других деформаций; на их основе уже сейчас созданы и действуют автоматизированные системы инженерно-геологического прогнозирования в Донецком, Кузнецком, Печорском, Карагандинском угольных бассейнах.

К этой группе тесно примыкают разработанные во ВСЕГИНГЕО методы геодинамического потенциала и автоматического распознавания. Первый из них позволяет оценивать условную вероятность реализации оползней в пределах площадей с различным сочетанием существенных, поддающихся непосредственной фиксации геологических и некоторых других признаков. Метод автоматического распознавания, реализуемый с помощью специальной программы "Ботас" [5], основывается на традиционных геометрических представлениях теории распознавания. Он сводится к построению и использованию математической модели, с помощью которой в зависимости от сочетания литологической принадлежности пород, мощности покровных отложений, крутизны коренной основы и склонов, показателей гидрогеологических условий и интенсивности эрозии (абразии) может быть получена оценочная функция. Ее значения в конкретных точках служат основанием для отнесения породного массива к одному из пяти классов по устойчивости и возможности возникновения оползней.

Алгоритмы регрессии в чистом виде могут быть использованы при инженерно-геологическом прогнозировании главным образом как вспомогательные по отношению к другим и, в частности, к более распространенным и эффективным методам статистической экстраполяции. Последние базируются на анализе динамических рядов многолетних наблюдений за изменением показателей оползневой или селевой активности. Формализация этих процессов осуществляется в виде уравнений парной и множественной связей, аппроксимирующих изменение показателей геологической среды, оползневой, селевой и других видов экзогенной активности с учетом влияющих факторов. Необходимо заметить, что относящиеся к этой группе прогностические методы, также разработанные во ВСЕГИНГЕО [5], пока что позволяют учитывать лишь естественные факторы. Здесь, как и в целом ряде охарактеризованных выше случаев, выявление и учет статистических связей между изменяющимися параметрами геологической среды и влияющими на них техногенными факторами являются решающей предпосылкой для эффективного использования статистической экстраполяции. Вот почему она наиболее приемлема для прогнозирования техногенных процессов при наличии полигонов наземного литомониторинга, аэрокосмомониторинга геологической среды или частных систем режимных наблюдений, позволяющих получать динамические ряды и выявлять временные закономерности процесса. Впрочем, нужно еще раз подчеркнуть и опасности подобного подхода, связанные с недопониманием физической сути наблюдавшегося процесса.

Формирование и функционирование весьма сложных природно-технических геосистем определяют необходимость разработки и развития новых, нетрадиционных методов инженерно-геологического

прогнозирования. Наиболее перспективными в этом отношении могут считаться группы системно-структурных и ассоциативных методов. Целям, задачам и специфике геолого-экологического прогнозирования в сложных условиях отвечает метод прогнозного сценария, позволяющий совмещать историко-геологический и геолого-экологический подходы к построению прогнозов. Разработка инженерно-геологических сценариев может осуществляться в сочетании с построением прогнозных графов, выражающих логическую последовательность элементарных и вторичных по отношению к ним процессов и явлений в явно или неявно выраженных временных координатах. Такие сценарии могут разрабатываться на качественном и количественном уровнях отдельными специалистами или группами экспертов. Так, например, с учетом факторов и закономерностей, охарактеризованных в работе Р.А. Ниязова [15] для природно-технических геосистем типа Ангренского угледромышленного района, вполне реально составление прогнозного сценария, моделирующего следующую совокупность событий, приведших к формированию Загасан-Атчинского оползня-гиганта: создание полостей при шахтной разработке и подземной газификации угля; связанное с этим оседание земной поверхности и изменение крутизны склона; техногенное изменение физико-механических свойств горных пород, особенно в зонах непосредственного воздействия на них подземной газификации; усиление обводненности пород в верхней части склона, отсыпка на нем породных отвалов и, как следствие, изменение напряженного состояния массива; потеря устойчивости и оползание пород вниз по склону.

Проблемы геокриологических прогнозов. Целью геокриологического прогноза является предсказание изменений геокриологических условий — суммарной влажности и льдистости пород, размеров участков мерзлых и немерзлых пород, их взаимодействия с подземными водами, криогенных физико-геологических процессов (термокарст, пучение, растрескивание, солифлюкция и др.).

Методы прогнозирования включают математическое моделирование и метод природных (физико-геологических) аналогий, их сочетание. Районы криолитозоны, как правило, являются мало освоенными в хозяйственном отношении, что затрудняет применение метода природных аналогий, базирующегося на прямом наблюдении техногенно нарушенных участков, поэтому математическое моделирование часто является единственно возможным методом.

Основой моделирования является совокупность уравнений теплوفизики и механики сплошной среды. При этом задача существенно усложняется, так как в большинстве случаев необходимо прогнозировать взаимодействие мерзлых и немерзлых участков пород, находящихся в динамическом контакте друг с другом, с учетом условий равновесия и неразрывности деформаций, уравнений состояния и уравнений миграций (не только влаги, но и газов или растворенных веществ — через мерзлую зону). В полной постановке такая математическая модель в настоящее время практически не реализуема. Наиболее важные причины этого: недостаточная изученность физико-химических процессов в промерзающих грунтах (т.е. условий

на границе мерзлых и немерзлых зон) и недостаточное быстродействие современных ЭВМ (реализация модели возможна лишь численными методами). Поэтому в современных условиях для геокриологических прогнозов применяются упрощенные математические модели, в которых обоснованно пренебрегают мало влияющими факторами (что позволяет сократить количество уравнений) и рационально схематизируют расчетную область (для сокращения мерности задачи).

Наиболее широкое распространение получили одно- и двумерные модели для температурных прогнозов в условиях, когда деформациями пород, движениями в них влаги и растворенных веществ можно пренебречь. В этом случае в модели остается только уравнение теплопроводности с граничными условиями между мерзлыми и немерзлыми зонами в виде равенства их температур и баланса тепла с учетом фазовых переходов (задача Стефана) [16]. Достаточно развита также одномерная миграционная модель криогенного пучения, в которой температурное поле оценивается независимо, движение (миграция) влаги описывается диффузионным уравнением с термоградиентным членом, а деформациями пород пренебрегают [16, 21]. Существенно слабее разработаны модели для геомеханических прогнозов, т.е. для описания деформаций пород, связанных с промерзанием и протаиванием. Главной их особенностью является принятие упрощающего предположения о независимости температурного поля от полей деформации и напряжений. Здесь можно отметить одномерные модели солифлюкции и термокарста, двумерную модель криогенного растрескивания.

Способы решения, а также проблемы аналитической или численной реализации упомянутых геокриологических моделей примерно те же, что и при решении задач геофильтрации. Однако следует подчеркнуть, что последние значительно проще, хотя бы потому, что в геокриологии обязательным является прогноз температурного поля и учет нелинейности, связанной с изменением фазового состояния пород. Естественно, что геокриологические модели получают дальнейшее развитие в вероятностно-детерминированной постановке, которая, в частности, была осуществлена при геокриологическом прогнозе для района Воркуты.

Схематизация во многом сводится к выделению однородно и устойчиво функционирующих природных тел, что достаточно подробно исследовано в рамках ландшафтования. Многолетние работы ВСЕГИНГЕО по изучению природных комплексов криолитозоны позволили установить определенные глубины корреляции поверхностных покровов с литогенной основой по условиям энергомассообмена. В частности, для природных комплексов в ранге фаций она равна мощности сезонно-мерзлого слоя, в ранге уроцищ — глубине нулевых амплитуд, в ранге местностей — глубине эрозионного вреза.

Устойчивость функционирования природного комплекса как термодинамической системы обеспечивается существованием определенных гомеостатических механизмов. В частности, один из них отражает важную особенность теплообмена в системе атмосфера—напочвенные покровы—литосфера — постоянство интегрального (за летний период)

теплового потока в грунт при изменении в широком диапазоне тепловых потоков в приземном слое воздуха. Другой выражается в наличии в разрезах пород криолитозоны переходного и промежуточного слоев, отражающих развитие природного комплекса как системы; эти слои демпфируют влияние внешней среды на толщу мерзлых пород в естественных условиях, от их свойств (в первую очередь от свойств промежуточного слоя) зависят возможность и интенсивность криогенных процессов на осваиваемой территории [4].

С учетом изложенного под природным комплексом как объектом геокриологического изучения и прогноза понимается природная сложная термодинамическая система, состоящая из поверхностных покровов и литогенной основы до глубины их взаимной корреляции по условиям массоэнергообмена, открытая по массоэнергообмену и обладающая свойством гомеостаза [4]. Такое выделение объекта геокриологического изучения и прогноза имеет принципиальное значение для реализации метода природных аналогий, так как при наблюдениях за изменениями геокриологических условий на техногенно нарушенных участках важнейшим вопросом является размер области, подлежащей мониторингу.

Геокриологический прогноз применительно к природным комплексам криолитозоны района Пур-Надымского междуречья Западной Сибири практически реализован в работе ВСЕГИНГЕО, опубликованной в 1983 г. в виде трех взаимно связанных монографий [2, 3, 7]; эти исследования позволили сэкономить народному хозяйству более 200 млн руб.

Что же касается локальных прогнозов взаимодействия инженерных сооружений с мерзлыми породами, то здесь проделана большая работа по обоснованию требований к исходным материалам, а также разработаны расчетные методы для оценки основных геокриологических параметров, необходимых при проектировании инженерных сооружений. Так, впервые получены уникальные данные о взаимодействии многолетнемерзлых пород с разведочными газоэксплуатационными скважинами на Харасавьском и Маастахском месторождениях (ВНИИГаз).

К настоящему времени геокриологическое изучение и прогноз выполнены на стадиях региональных исследований, изысканий и проектирования в основных осваиваемых районах криолитозоны СССР. В ПНИИС составлена серия обзорных геокриологических карт с элементами геокриологического прогноза (распространения и мощности мерзлых грунтов, криогенного строения, льдистости мерзлых пород и криогенных процессов, среднегодовых температур и мощности слоя сезонного промерзания—протаивания грунтов). Выполнены инженерные изыскания с элементами геокриологического прогноза под сооружения и комплексы сооружений в районах Западно-Сибирского, Усть-Илимского, Южно-Якутского территориально-производственных комплексов (ПНИИС, Фундаментпроект, ПО Стройизыскания, Мосгипротранс, Ленгипротранс и др.). В отдельных районах криолитозоны проводятся стационарные наблюдения за режимом изменения геокриологических условий под влиянием естественных

и техногенных факторов (ВСЕГИНГЕО и отдельные производственные геологические объединения Мингео СССР, МГУ, ПНИИИС). Уникальные данные получены в результате многолетних стационарных геокриологических наблюдений ИМ СО АН СССР в Центральной Якутии, а также ВСЕГИНГЕО, ПНИИИС и МГУ в нефте- и газоносных районах криолитозоны Западной Сибири. Выполнены геокриологические прогнозы для территории крупнейших в мире месторождений природного газа — Уренгойского, Медвежьего (ВСЕГИНГЕО), Ямбургского (ПНИИИС).

В целом же, однако, проблемы геокриологического прогноза еще далеки от своего полного разрешения. Необходимо дальнейшее накопление данных и развитие научных представлений о ландшафтах криолитозоны как сложных термодинамических природных системах, о природе и закономерностях развития криогенных физико-геологических процессов; тем самым будут стимулироваться и исследования, направленные на разработку и численную реализацию математических моделей для геокриологического прогноза.

Общие выводы и рекомендации

1. Лежащие в основе прогнозов теоретические модели и методы их исследования разработаны к настоящему времени до достаточно высокого уровня. И хотя еще имеется, конечно, довольно широкий спектр проблем, требующих дальнейшего теоретического обоснования, все же ключевую роль в точности и надежности прогнозов на практике чаще играет качество исходной информации, а также субъективный фактор — квалификация исполнителя, мерилом которой служит прежде всего качество схематизации изучаемого процесса.

2. Принципиальное улучшение исходной информации для прогнозов, получаемой на стадии разведки (изысканий), возможно лишь при неукоснительном соблюдении двух основных принципов — обратной связи и адаптации. Первый из них предполагает всесторонний учет при изысканиях условий функционирования будущего инженерного сооружения, второй — поэтапное оперативное "приспособление" состава, методов и объемов изысканий к постепенно накапливаемой информации об объекте. Соблюдение этих принципов делает прогнозную модель объекта и средством, и целью: в процессе поэтапной схематизации модель постепенно улучшается по мере роста информации и в то же время дает основу для руководства разведкой (изысканиями) на последующих этапах, включая наблюдения при строительстве и эксплуатации инженерного объекта. При этом важнейшим механизмом исследования становится анализ чувствительности прогнозной модели, позволяющей выявить ее "наиболее узкие места" и соответственно дифференцировать требования к новой информации. Сказанное предполагает также наличие тесной связи между разведочной и проектной организациями уже на ранних стадиях разведки.

3. Отдавая должное усилиям специалистов, направленным на повышение качества разведки (изысканий), необходимо признать, что для широкого круга проблем она объективно не способна обеспечить

требуемую надежность и достоверность прогнозов. Отсюда следует вывод о необходимости "мягкого" проектирования и диапазонных прогнозных оценок, количественно учитывающих неопределенность исходной информации через те или иные вероятностные показатели (например, среднеквадратичное отклонение прогнозной оценки как функция возможных вариаций исходных параметров).

4. По тем же причинам в широком круге условий приходится считаться с необходимостью опытно-эксплуатационного подхода к проектированию инженерного объекта, когда окончательные проектные решения принимаются на основе постепенной корректировки прогнозов с учетом данных режимных наблюдений и дополнительных экспериментов на первом этапе строительства (эксплуатации). Одновременно прогнозная модель (в частности, постоянно действующая — ПДМ) служит для наращивания сети наблюдений (мониторинга) на базе разведочных расчетов и "просеивания гипотез". Для реализации ПДМ в комплексе с мониторингом целесообразно создавать специальные подразделения (методические партии) производственных организаций, на базе которых могли бы формироваться "мозговые центры" по совершенствованию методики и технологии проведения полевых работ.

5. Наиболее эффективная реализация всех упомянутых здесь функций прогнозных построений осуществляется в рамках тесного сочетания аналитических методов и математического моделирования. При этом роль последнего отнюдь не сводится к функции "большого арифметера": моделирование необходимо скорее не для собственно прогнозного расчета, а для лучшего понимания исследователем изучаемой ситуации в процессе многовариантных прогнозов модели, или, если угодно, "игры" с нею. Такой подход к моделированию особенно важен в свете решения задач схематизации.

6. Исключительное значение (для качества прогноза) корректной схематизации изучаемого процесса и общих экспериментальных оценок часто выводят на передний план субъективный фактор — квалификацию исполнителя, который в настоящее время обязан сочетать в одном лице хорошего геолога и знающего инженера⁸. Для того чтобы такой исполнитель стал в наших профессиях нормой, необходимо не только хорошее обучение: очень важна также позиция ведущих специалистов, делающих политику в отрасли, правильная расстановка ими приоритетов — будь то в производстве или в науке. Именно в этой плоскости, будем надеяться, следует усматривать, в частности, пользу от настоящего форума.

⁸ В этой связи опять можно заметить, что положения с реализацией данного важнейшего требования в гидрогеологии и инженерной геологии сейчас существенно различаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайдин А.М., Певзнер М.Е., Смирнов Б.В. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1983. 310 с.
2. Геокриологические условия Западно-Сибирской газоносной провинции // Под ред. Е.С. Мельникова. Новосибирск: Наука, 1983. 198 с.
3. Геокриологический прогноз для Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. С.Е. Гречищева. Новосибирск: Наука, 1983. 182 с.
4. Гречищев С.Е., Чистотинов Л.В., Щур Ю.Л. Основы моделирования криогенных физико-геологических процессов. М.: Наука, 1984. 230 с.
5. Гулакян К.А., Кюнцель В.В., Постоеев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977. 135 с.
6. Доклады Всесоюзной научной конференции "Охрана геологической среды от опасительного воздействия предприятий горнодобывающего профиля". М.: Изд-во МГУ, 1984. 262 с.
7. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Е.С. Мельникова. Новосибирск: Наука, 1983. 166 с.
8. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Поспелов А.В. Имитационное моделирование в геофильтрационных исследованиях // Вод. ресурсы. 1985. N 4. С. 60—75.
9. Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. М.: Недра, 1986. 208 с.
10. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. М.: Недра, 1983. 357 с.
11. Мироненко В.А., Румынин В.Г., Учаев В.К. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах. Л.: Недра, 1980. 320 с.
12. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Опытно-миграционные работы в водоносных пластах. М.: Недра, 1986. 240 с.
13. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидромеханики. • М.: Недра, 1974. 295 с.
14. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. М.: Недра, 1978. 325 с.
15. Нязов Р.А. Формирование крупных оползней Средней Азии. Ташкент: Фан, 1982. 156 с.
16. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / Под ред. В.А. Кудрявцева. М.: Изд-во МГУ, 1974. 432 с.
17. Попов И.В., Бандарик Г.К., Розовский Л.Б. Задачи и методы долгосрочного прогноза инженерно-геологических условий // Рациональное использование земной коры. М.: Недра, 1974. С. 51—60.
18. Рац М.В. Структурные модели в инженерной геологии. М.: Недра, 1973. 214 с.
19. Смирнов Б.В. Вероятностные методы прогнозирования в инженерной геологии. М.: Недра, 1983. 134 с.
20. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарян Э.В. Основы механики горных пород. Л.: Недра, 1977. 199 с.
21. Фельдман Г.М. Прогноз температурного режима грунтов и развития криогенных процессов. Новосибирск: Наука, 1977. 192 с.
22. Швидлер М.И. Фильтрационные течения в неоднородных средах. М.: Гостехиздат, 1963. 136 с.
23. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М.: Изд-во МГУ, 1979. 368 с.
24. Long J.C. et al. Porous media equivalent networks of discontinuous fractures // Water Resour. Res. 1982. Vol. 18, N 3. P. 645—658.
25. Recent trends in hydrogeology // Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 1982. P. 189.

Г.А. Голодковская, С.Д. Воронкевич, В.М. Гольдберг,
Э.Д. Ершов

Проблемы рационального использования, управления и охраны геологической среды

Одним из важных направлений научно-технического прогресса в области наук о Земле является разработка фундаментальных и технологических основ обеспечения рационального и бережного освоения верхних горизонтов литосферы. В этом отношении усилия инженерно-геологической и гидрогеологической науки и практики направлены на решение двуединой задачи:

геологическое обеспечение мероприятий по предотвращению и ликвидации вредного влияния геологической среды, на успешную реализацию различных проектов как в области разработки полезных ископаемых, так и в инженерно-хозяйственной деятельности;

геологическое и технологическое обоснование рациональных способов защиты геологической среды от разрушения и загрязнения и методов восстановления (полного или частичного) ее полезных качеств или создания искусственных форм геологической среды.

Рациональное, т.е. научно и технически обоснованное, экономически целесообразное, эффективное и экологически оправданное использование геологической среды предполагает учет техногенного воздействия на геологическую среду в трех аспектах: на среду, в которой возводятся и работают различные инженерные сооружения, на среду, которая является источником инженерно-сырьевых ресурсов, и, наконец, на среду, которая является важнейшим компонентом природного комплекса, средой обитания живого мира и человека [1].

В гидрогеологии, инженерной геологии и геокриологии существуют научные предпосылки для того, чтобы на качественном или количественном уровне получить научно-обоснованную оценку гидрогеологических и инженерно-геокриологических условий, обеспечивающую оптимальный выбор участков строительства и разработку наиболее экономичных и надежных конструктивных и технологических решений строительства и эксплуатации сооружений; правильно оценить влияние гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий на использование природных ресурсов, выбор и разработку эффективных методов извлечения из недр полезных ископаемых; получить прогнозную информацию о последствиях техногенных изменений геологической среды, ведущих к негативным изменениям экологической обстановки, что позволяет своевременно предупредить или ограничить неблагоприятные для жизнедеятельности человека процессы при локальном их проявлении.

Техногенное воздействие на геологическую среду проявляется, с одной стороны, в изменении гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий и процессов, с другой стороны — в изменении свойств пород. Эти два вида техногенных

изменений геологической среды взаимосвязаны. Их изучение, имеющее не только теоретическое, но и большое практическое значение, ставит целью геологическое обоснование хозяйственного освоения территории и предотвращение (или уменьшение) отрицательных последствий техногенных воздействий на геологическую среду.

Изучение техногенного изменения геологической среды включает исследование механизма процессов, протекающих в природно-технической системе, оценку современного состояния геологической среды, прогноз ее изменения, контроль за состоянием геологической среды. На этой основе могут быть намечены меры по регулированию и управлению техногенным воздействием на геологическую среду и по управлению самой геологической средой.

В исследованиях тесно переплетаются взаимосвязанные вопросы гидрогеологического, инженерно-геологического и геокриологического изучения природно-технических систем. Поэтому назрела насущная необходимость в комплексном подходе к этим исследованиям, оценкам и прогнозам техногенного воздействия на геологическую среду и к управлению ею в целях сведения к минимуму отрицательных последствий этого воздействия.

Учет взаимосвязи этих аспектов при изучении геологической среды обязателен, как обязательно и привлечение экономических и социальных критерии для комплексного решения проблемы. В настоящей работе мы ограничимся рассмотрением только ее гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических вопросов.

Наиболее распространенными изменениями геологической среды, обусловленными техногенными нагрузками на нее, являются: 1) подъем уровня грунтовых вод при создании водохранилищ, орошении земель, изменении гидрогеологической обстановки на территориях городов; связанные с этим засоления почв, подтопление земель и сооружений, заболачивание, повышение сейсмичности, деформации лёссовых пород и др.; 2) загрязнение подземных вод и грунтов главным образом промышленными сельскохозяйственными стоками, приводящее к сокращению запасов вод хорошего качества, изменению свойств грунтов, различным экологическим последствиям; 3) деформации земной поверхности, изменение ландшафтов, режима и химического состава подземных вод при извлечении из недр Земли полезных ископаемых; 4) активизация оползней, селей и других склоновых процессов в районах интенсивного освоения; 5) изменение физических полей, в первую очередь поля напряжений и температурного, что приводит к изменению состояния и свойств грунтов, возникновению различных инженерно-геологических процессов; 6) изменение интенсивности и даже направленности геохимических процессов.

Масштабы и характер проявления этих изменений определяются источниками техногенного возмущения и строением геологической среды, в первую очередь ее чувствительностью к техногенным нагрузкам. Очевидно, что эффективное освоение территории невозможно без учета техногенных изменений геологической среды, без проведения системы мероприятий по управлению инженерно-геологическими процессами для предотвращения, ликвидации или ограничения

опасных последствий. Эти мероприятия должны включаться в общий план рационального использования геологической среды регионов, составляемый поэтапно в соответствии со схемой государственного территориального планирования и проектирования: а) на уровне разработки генеральных схем развития народного хозяйства (союзной, отраслевых, республиканских схем развития и размещения производительных сил и др.), когда принимаются принципиальные решения по видам и способам хозяйственного освоения территорий и природоохранным мероприятиям при реализации государственных планов преобразования природы; б) на уровне территориального планирования среднего звена — при составлении схем (проектов) районной планировки, предусматривающих размещение народнохозяйственных объектов (горнорудных, энергетических, промышленных узлов, городов и поселков и др.), а также рекреационных и природоохранных зон; в) на уровне проектирования отдельных промышленных и других предприятий, когда основные механизмы антропогенного влияния на природную среду и соответствующие механизмы регулирования и управления возникающими процессами оказываются задействованными в конкретных проектах инженерных сооружений, защитных и природоохранных мероприятий. Очевидна необходимость преемственности решений на указанных этапах разработки планов рационального использования и охраны геологической среды. В связи со стремительно растущими техногенными нагрузками на геологическую среду проблема эта становится все более важной, являясь к тому же чрезвычайно сложной. Трудности ее решения определяются разнообразием геологической среды, разнообразием способов вмешательства в нее человека, слабой изученностью механизмов взаимодействия в природно-технической системе, общим состоянием теории прогнозирования поведения таких систем, недостаточным знанием отдаленных последствий взаимодействия сооружений и геологической среды. Для успешного решения проблемы особенно важно выработать основополагающие методологические позиции.

В общей постановке задача определяется достаточно четко. Необходима информация о строении геологической среды и информация об инженерно-хозяйственном воздействии на нее. Далее следует информация о выявленных, т.е. существующих, изменениях в той или иной конкретной природно-технической системе, которая является основой для прогноза техногенных изменений (в случаях, когда прогноз не может быть осуществлен, например, детерминированными методами). Затем определяется и реализуется сеть режимных наблюдений, по данным которой уточняются прогнозы и осуществляются мероприятия по управлению геологической средой [2].

Такова схема. Однако следует подчеркнуть, что связи между геологической средой и инженерными сооружениями являются многофакторными, изменчивыми во времени и пространстве, и на современном уровне наших знаний могут быть исследованы и оценены лишь применительно к схематизированным ситуациям, упрощенным моделям. Поэтому вопросы схематизации, ее принципы и пути реали-

зации являются одними из первоочередных в проблеме "человек и геологическая среда". Главная задача при этом — создание моделей, не только достаточно правильно отражающих реальный характер природной или техногенной системы, но и подчеркивающих те их свойства, которые являются решающими для прогнозной оценки техногенных изменений геологической среды.

Так, при типизации геологической среды важнейшими признаками являются сведения о ее геологическом строении, рельефе, подземных водах и геологических процессах. Ближайшая задача — разработка количественных или хотя бы полуколичественных характеристик каждого из названных компонентов с градуированием (ранжированием) их в зависимости от детальности рассмотрения. Опыт такого ранжирования при специальном картировании в разных масштабах приведен в совместной работе кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды МГУ и кафедры инженерной геологии Университета Коменского в Братиславе (ЧССР).

Второй блок информации, необходимой для рационального использования геологической среды и управления инженерно-геологическими процессами, составляют сведения о техногенных нагрузках (воздействиях) на геологическую среду. Информация эта может быть получена путем обобщения опыта многоотраслевого освоения больших территорий, режимных наблюдений на отдельных экспериментальных участках, прогнозных расчетов, весьма разнообразных по применяемым методам получения количественных оценок, и т.д. Использование того или иного из указанных способов зависит как от характера практических задач, решаемых на данном этапе разработки плана рационального использования и охраны геологической среды, так и от особенностей природных условий осваиваемых территорий. Все это усложняет разработку принципов и приемов типизации техногенных воздействий. Большинство предложенных в настоящее время схем типизации техногенных воздействий представляют собой в различной степени упорядоченный и полный перечень возможных вариантов.

Выбор того или иного подхода к типизации техногенных воздействий зависит от природных особенностей территории освоения и от практических задач, решаемых на разных этапах составления планов рационального использования геологической среды. Так, применительно к криолитозоне на первом этапе, когда исследования и обобщения охватывают большие территории, стоит задача выявления изменений зональных и региональных факторов формирования геокриологической обстановки. При определении будущих тенденций в развитии мерзлотного процесса на больших территориях особое внимание следует уделять экстенсивным воздействиям, которые часто бывают непреднамеренными и слабо предсказуемыми. На втором этапе первостепенное значение имеет типизация техногенных воздействий по видам производственной деятельности. При этом особо выделяются деструктивные воздействия, разрушающие природные связи между компонентами ландшафта и вызывающие необратимое развитие криогенных инженерно-геологических процессов.

Большое значение на этом этапе имеют также типизации техногенных воздействий по их влиянию на тепловое состояние пород, позволяющие составить общую картину возможных изменений геокриологической обстановки осваиваемых территорий.

На этапе проектирования конкретных народнохозяйственных объектов типизация техногенных воздействий зависит от стадии проектирования и вида строительства. При выполнении основного объема работ на стадии проекта рассматриваются преимущественно прямые планируемые техногенные воздействия (в соответствии с техническим заданием на проектирование), что определяет детерминированный характер исследуемых природно-техногенных систем и широкое применение математического моделирования при прогнозировании. Каждому типу сооружений соответствует набор нарушений и техногенных нагрузок, определяющих весь круг задач, их постановку, последовательность решений, методику инженерно-геокриологических изысканий и конкретного прогнозирования.

Геологическая среда обладает различной устойчивостью по отношению к техногенному воздействию. Одни типы строения геологической среды устойчивы, в пределах других достаточно незначительного вмешательства, чтобы нарушение природной системы достигло критических значений, привело к возникновению неуправляемых процессов. Разработку критериев выделения и классификации геологической среды по степени устойчивости следует считать одной из важнейших ближайших задач рационального использования инженерно-геологических, геокриологических и гидрогеологических ресурсов территории.

В инженерной геологии на региональном уровне подобная оценка основана на вероятности возникновения техногенных процессов, их размеров, последствий, продолжительности протекания. Так, различаются устойчивые территории, при освоении которых возникновение инженерно-геологических процессов маловероятно либо они незначительны и для поддержания территории в равновесном состоянии не требуется специальных мероприятий. К среднеустойчивым рекомендуется относить территории, на которых возможно возникновение инженерно-геологических процессов, но процессы эти не носят катастрофического характера и управление ими возможно путем осуществления стандартных инженерных приемов. Наконец, к неустойчивым отнесены территории, техногенное воздействие на которые может привести к возникновению катастрофических процессов, управление которыми либо не может быть технически осуществлено, либо требует затрат, сопоставимых и даже превышающих экономическую эффективность проектируемых сооружений.

В гидрогоеохимии для оценки защищенности подземных вод можно использовать показатель защищенности, который определяется по сумме баллов, складываемых из баллов, оценивающих мощность слабопроницаемых пород в зоне аэрации, их литологию, глубину залегания грунтовых вод.

В геокриологии предлагается проводить оценку устойчивости по комплексу признаков. К ним относятся: тепловое состояние и тепловая

инерция пород, свойства пород, режим грунтовых вод, геокриологические процессы.

Тепловая инерция мерзлых (талых) пород и сравнительная оценка условий их многолетнего оттаивания (промерзания) может быть количественно определена по затратам тепла, необходимым для повышения (понижения) среднегодовой температуры пород до 0°C , по количеству тепла, необходимому для протаивания (промерзания) пород на определенную глубину, по скорости (интенсивности) протаивания (промерзания) и т.д. При данном составе рыхлых пород (и торфов) их тепловая инерция зависит от среднегодовой температуры и суммарной льдистости. Очевидно, что наибольшей тепловой инерцией (наименьшей чувствительностью) обладают низкотемпературные сильнольдистые породы, наименьшей — высокотемпературные и слабольдистые.

При региональных исследованиях информация об устойчивости геологической среды отражается на специальных картах, которые строятся на основе карт инженерно-геологического, геокриологического или гидрогеологического районирования. На начальных стадиях исследований, когда еще не определены границы и виды освоения территории, методы строительства и применяемые технологии, подобные карты имеют и большое прогнозное значение, так как все прогнозные предложения могут быть выполнены только применительно к площадям выделенных таксономических единиц. Карты устойчивости геологической среды к техногенному воздействию необходимы и для обоснования общей методики и выбора методов детального изучения изменений геологической среды, определения опорных участков, постановки режимных наблюдений, обоснования расчетных схем и получения других материалов, необходимых для количественной оценки инженерно-геологических процессов и рекомендаций по их управлению. Оценка устойчивости необходима и для определения предельно допустимой нагрузки на геологическую среду без критических нарушений природных связей, для получения инженерно-экологических характеристик территории.

Рациональное использование геологической среды подразумевает опережающий прогноз тех процессов, которые могут возникнуть при ее хозяйственном освоении. Во всех случаях прогнозирования для любого метода прогноза (детерминированного, вероятностно-стохастического, аналогий и т.д.) необходимо прежде всего выделить определяющие факторы воздействия на нее техногенных источников. Примером того, как может быть реализован этот подход, является методика, разработанная во ВСЕГИНГЕО применительно к охране подземных вод от загрязнения [3, 4].

Загрязнение подземных вод сказывается, как известно, в изменении химического состава подземных вод, появлении тепловых аномалий и техногенной газовой оболочки. Изменение химического и температурного режима подземных вод, в свою очередь, влияет на фильтрационные свойства пород, в особенности глинистых водоупоров. Загрязнение подземных вод тесно связано с загрязнением других природных сред (атмосферы, поверхностных вод, почв), что обуслов-

ливает необходимость комплексного изучения загрязнения подземных вод и этих сред в их взаимосвязи.

Для прогноза загрязнения подземных вод необходимо изучение техногенной нагрузки на природную среду, загрязняющих веществ, защищенности подземных вод, современного состояния качества подземных вод, миграции загрязняющих веществ в подземных водах и их взаимодействия в системе вода—порода.

Загрязнение подземных вод обусловлено прежде всего техногенной нагрузкой внешних природных сред, образующихся в результате хозяйственной деятельности, загрязняющими веществами и прежде всего отходами, которые поступают в эти среды вследствие систематических и аварийных выбросов и потерь. Поступающие во внешние среды вещества в конечном итоге попадают на поверхность земли, через зону аэрации могут проникнуть в грунтовые воды, а из грунтовых — в более глубокие водоносные горизонты. Поэтому техногенную нагрузку природной среды загрязняющими веществами приближенно можно охарактеризовать модулем техногенной нагрузки, определяемым через годовой выброс всех видов загрязняющих веществ (жидких, твердых, газообразных), к площади административного района, где находятся источники выбросов и приемники отходов.

Приближенность такой количественной оценки техногенной нагрузки очевидна, она обусловлена тем, что, во-первых, не все количество выбрасываемых веществ (прежде всего газообразных) остается в пределах данной фиксированной территории, а во-вторых, распределение выброшенных веществ по поверхности неравномерно в пределах этой территории. Определенный таким образом модуль дает осредненную и несколько завышенную техногенную нагрузку природной среды загрязняющими веществами.

Общая величина техногенной нагрузки может быть дифференцирована и уточнена раздельно по агрегатному состоянию: по жидким отходам, по газообразным выбросам, по твердым отходам — и по виду загрязняющих веществ. В зависимости от агрегатного состояния загрязняющих веществ их воздействие на подземные воды носит различный характер по распространенным размерам и интенсивности загрязнения. Наиболее опасны для подземных вод жидкие отходы, поступающие с поверхности земли, главным образом из земляных хранилищ промышленных сточных вод. Они растекаются по поверхности земли, легко фильтруются и быстро достигают уровня грунтовых вод, образуя значительные по размерам и интенсивности области загрязнения подземных вод. В меньшей степени влияют на подземные воды свалки твердых отходов, область воздействия которых в значительной степени локализована, хотя интенсивность загрязнения подземных вод может быть весьма значительной. Газообразные выбросы, перемещаясь воздушными потоками, сказываются на больших пространствах, но изменение минерализации подземных вод или концентрации отдельных веществ под их воздействием небольшое и сказывается медленно, хотя по истечении длительного времени и в условиях постоянных газодымовых выбросов, что имеет место в промышленных районах, изменения в химическом составе подзем-

ных вод могут быть заметными и проявляться в региональных масштабах. С газодымовыми выбросами связано региональное изменение гидрохимического фона грунтовых вод и образование техногенного фона.

Обычно в районах интенсивного хозяйственного освоения имеют место все три вида отходов по агрегатному состоянию, и там, где больше величина общей техногенной нагрузки, как правило, выше вероятность загрязнения подземных вод. Это подтверждается анализом загрязнения подземных вод и распределением техногенной нагрузки, например, по районам Московской области.

Вторым фактором, на котором базируется прогноз загрязнения подземных вод, является защищенность водоносных горизонтов. Загрязняющие вещества с поверхности земли попадают прежде всего через зону аэрации в грунтовые воды. Загрязненный горизонт грунтовых вод является источником загрязнения по отношению к более глубоким горизонтам. Поэтому в целях предотвращения загрязнения подземных вод прежде всего должны быть ограничены масштабы загрязнения грунтовых вод. Зона аэрации выполняет защитные функции по отношению к горизонту грунтовых вод.

Природная защищенность грунтовых вод зависит в основном от следующих факторов: мощности и литологии слабопроницаемых отложений в зоне аэрации, глубины залегания уровня грунтовых вод (или, что то же, мощности зоны аэрации). Главными из них являются мощность и литология слабопроницаемых отложений. Под слабопроницаемыми понимаются тонкодисперсные породы с коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сут. К таким породам относятся глины, суглинки, супеси, тонкозернистые глинистые пески. Литология и минералогический состав слабопроницаемых отложений определяют их фильтрационные и сорбционные свойства. Последние применительно к региональным и качественным оценкам защищенности обычно не учитываются. Их определения целесообразно выполнять при крупномасштабных детальных исследованиях под конкретные объекты и загрязняющие вещества, так как практический учет сорбции в оценке защищенности подземных вод осложняется отсутствием фактических данных о поглощении различных веществ породами разного минерального состава и требует в каждом отдельном случае специальных исследований.

Природная защищенность грунтовых вод, оцененная по трем факторам (мощности слабопроницаемых отложений в зоне аэрации, их литологии, глубине залегания уровня грунтовых вод), может быть выражена в баллах с использованием уже упоминавшегося показателя защищенности. Такой подход позволяет объективно сравнить различные территории по условиям защищенности.

На основе анализа техногенной нагрузки исследуемой территории загрязняющими веществами и условий защищенности на ней грунтовых вод от загрязнения можно подойти к приближенной оценке подверженности подземных вод загрязнению через показатель подверженности, равный отношению модуля техногенной нагрузки к показателю защищенности.

Для прогноза загрязнения, как указывалось, необходима оценка современного состояния качества подземных вод. Она включает определение современного гидрохимического фона, определение масштабов загрязнения подземных вод в районах источников загрязнения, определение масштабов загрязнения подземных вод на водозаборных сооружениях.

Под гидрохимическим фоном понимается качество подземных вод за пределами аномальных областей, приуроченных к очагам интенсивного загрязнения подземных вод в районах крупных промышленных и сельскохозяйственных объектов. Гидрохимический фон характеризуется такими показателями, как сухой остаток, общая жесткость, содержание нитратов, содержание хлоридов, содержание тяжелых металлов (в первую очередь суммы трех металлов: цинка, меди, олова), величина pH, содержание общего железа. Гидрохимический фон в промышленных районах является измененным по сравнению с первоначальным естественным фоном и, по существу, уже представляет собой техногенный фон в значительной степени из-за атмосферных техногенных выпадений. Он отличается от естественного гидрохимического фона, который является отправной (исходной) точкой для временного прогноза химического состава подземных вод и оценки произошедших изменений. Однако установление естественного первоначального гидрохимического фона — весьма сложная задача и во многих случаях невозможно из-за отсутствия долгопериодных наблюдений. Поэтому начальный гидрохимический фон следует относить к тому прошлому и по возможности отдаленному периоду времени, который обеспечен представительными данными наблюдений за химическим составом подземных вод.

Определение масштабов загрязнения подземных вод в районе источника загрязнения включает оценку площади области загрязнения, показатели концентрации характерных веществ, минерализации подземных вод и их общей жесткости; параметры скорости и направления перемещения по пласту границы области загрязнения. На участках водозаборных сооружений масштабы загрязнения подземных вод оцениваются по доле отбираемых вод ухудшенного качества от общего расхода водозабора и интенсивности загрязнения этих вод, а интенсивность загрязнения — по концентрации загрязняющего вещества в общем дебите водозабора и в скважинах, дающих воду ухудшенного качества.

Прогноз процесса загрязнения подземных вод основывается на закономерностях миграции загрязняющих веществ по водоносному горизонту и их подтягивания к водозаборному сооружению. Миграция вещества в подземных водах есть результат сложения совместного действия процессов гидродинамики, проявляющихся в структуре фильтрационного потока, с процессами взаимодействия в системе вода—порода, приводящими к рассеянию, поглощению и выпадению—растворению вещества. Вопросы миграции вещества в пластиах с различными граничными условиями, с плановой и слоистой фильтрационной неоднородностью, с учетом дисперсии и сорбции вещества, различия плотностей жидкостей подробно освещены в литературе.

Важным следствием процессов взаимодействия в системе вода—порода является изменение свойств пород и в особенности их фильтрационных свойств. Особое значение это имеет для слабопроницаемых глинистых пород, которые в результате такого взаимодействия могут значительно изменять свои экранирующие свойства. Экспериментальные исследования влияния температуры, минерализации и состава вод на проницаемость глин и фильтрацию в них позволили выявить ряд интересных закономерностей. Так, проницаемость глин по отношению к высокоминерализованным хлоридным кальциево-натриевым растворам в 1,5—4 раза выше, чем для пресной воды. Еще более сильное влияние на проницаемость глин оказывает температура. При росте температуры от 20 до 80—90°С проницаемость глин в зависимости от их минерального состава и поглощенных катионов увеличивается на порядок и даже более. Особенно большое изменение проницаемости отмечается для монтмориллонитовых глин. Для условий глубоких водоносных горизонтов, характеризующихся высокой минерализацией подземных вод и значительными температурами, проницаемость глин может оказаться во много раз большей, чем для верхней части разреза.

Вследствие этого вертикальный поток подземных вод через глины (перетекание) для этих условий может быть соизмеримым с латеральным потоком или даже превосходить его. Учет изменения проницаемости и других свойств глин под влиянием техногенного химического и температурного фактора и обусловленного этими изменениями характера фильтрации через них особенно важен при обосновании подземного захоронения промстоков в глубокие водоносные горизонты, при оценке защищенности подземных вод на участках интенсивного техногенного воздействия и в особенности в районах бассейнов промышленных сточных вод (накопителей, прудов-испарителей, шламохранилиш).

Рассмотренный подход к методике прогнозирования загрязнения подземных вод в его общем виде справедлив и для криолитозоны. Однако, нетрудно показать, что при реализации его для условий криолитозоны потребуется специальное изучение и оценка всех перечисленных факторов, обусловленные спецификой фильтрации, миграции загрязняющих веществ через мерзлые водоупоры и другими особенностями физико-химических процессов в мерзлых грунтах. Приведенный пример позволяет еще раз обратить внимание на необходимость комплексного подхода к изучению природно-техногенных систем с использованием гидрогеологического, геокриологического и инженерно-геологического (в приведенном примере — грунтоведческого) аппаратов исследования.

В случае неблагоприятного прогноза характерных для данного вида техногенного воздействия инженерно-геологических процессов и явлений возникает необходимость выбора наиболее рациональных способов обеспечения устойчивости и нормальной эксплуатации сооружений. К их числу относятся: а) инженерно-строительные (конструктивные) мероприятия, направленные на ослабление или видоизменение внешнего воздействия на геологическую среду, борьбу с прояв-

лениями нежелательных инженерно-геологических процессов; б) методы технической мелиорации грунтов, которые дают возможность целенаправленно улучшать физико-механические и фильтрационные свойства определенных участков геологической среды, а также создавать искусственные грунты со свойствами, отвечающими требованиям к строительным материалам различных категорий.

В настоящее время для управления геологической средой в целях защиты сооружений от вредного влияния экзогенных природных и техногенных процессов применяются разнообразные инженерно-строительные и другие специальные мероприятия:

Защита сооружений и территорий от оползней, обвалов и селей путем уполаживания и террасирования склонов, удаления неустойчивых масс, регулирования поверхностного и подземного стока, применения удерживающих конструкций, фитомелиорации.

Противоэрзационные мероприятия, включающие агротехнические и мелиоративные средства борьбы с водной и ветровой эрозией почв и простейшие гидротехнические сооружения для управления процессом линейной эрозии.

Мероприятия по управлению карстовым процессом — специфические конструкции, тампонаж закарстованных отложений, укрепление сводов карстовых полостей, обрушение малоустойчивой кровли, организация поверхностного водоотвода, регулирование гидродинамического, гидрохимического и термического режимов поверхностных и подземных вод, сооружение противофильтрационных завес и другие.

Противопросадочные мероприятия — комплекс водозащитных и конструктивных мер, прорезка фундаментами просадочного грунта, устранение просадочных свойств грунтов путем их уплотнения или закрепления.

Борьба с криогенными процессами, включающая мероприятия по устранению или уменьшению неблагоприятного воздействия на здания и сооружения солифлюкции, наледного процесса, пучения промерзающих грунтов и некоторых других специфических для криолитозоны процессов и явлений.

Специальные приемы проектирования оснований зданий и сооружений, возводимых на просадочных, набухающих, водонасыщенных слабых, элювиальных и засоленных грунтах, на подрабатываемых территориях и в сейсмических районах.

Разнообразные средства предупреждения возникновения неблагоприятных геологических процессов и ограничение их отрицательного воздействия на геологическую среду при эксплуатации горнодобывающих предприятий — мероприятия по уменьшению зоны влияния открытых и подземных разработок, включающие использование дренажных вод, устройство противофильтрационных завес, искусственное уплотнение и закрепление пород; меры по управлению горным давлением, защите месторождений полезных ископаемых, шахтных и карьерных полей от обводнения [5].

В системе организационно-хозяйственных и инженерно-строительных мероприятий, связанных с обеспечением рационального использования геологической среды, определенное место занимает техни-

ческая мелиорация грунтов. Несмотря на относительную сложность и высокую стоимость методов технической мелиорации грунтов, они находят все более широкое применение в инженерно-хозяйственной практике. Производственная целесообразность, технико-экономическая эффективность и социальная значимость таких методов определяются различными конкретными ситуациями, такими, например, как возможность использования неблагоприятных участков, слабых и неустойчивых грунтов, местных грунтовых материалов взамен ценных сельскохозяйственных угодий, привозных грунтов и материалов и т.п.; возможность реконструкции действующих предприятий без остановки производственного процесса; повышение эффективности мероприятий по защите подземных вод от загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами путем создания техногенно-геохимических барьеров; реализация сложных и уникальных проектов подземного строительства; реставрация исторических и архитектурных памятников и музеефикация археологических объектов, и некоторыми другими.

Благодаря усилиям многих ученых и специалистов создан значительный теоретический задел в области технической мелиорации, а инженерная практика располагает разнообразным арсеналом средств и методов, позволяющих управлять качеством геологической среды в пределах подавляющего большинства природно-техногенных систем. Основные достижения и результаты сосредоточены в соответствующих монографиях и нормативных документах. Учитывая состояние теоретических представлений и уровень достижений инженерной практики в реализации методов уплотнения и закрепления грунтов при определении приоритетных целей и задач технической мелиорации грунтов в соответствии с требованиями научно-технического прогресса, можно выделить следующие основные положения в области фундаментальных научных исследований:

Развитие теории целенаправленной консолидации и механического уплотнения природных и техногенных грунтов. Принципиально новых результатов здесь можно ожидать на основе изучения энергетических характеристик происходящих процессов с привлечением молекулярно-кинетической теории и метода переходного состояния; количественной оценки структуры грунтов и ее динамики в ходе деформирования; выявления вклада энергетического состояния различных видов воды в грунтах; изучения роли физико-химических факторов (химические реакции, массоперенос, поверхностные процессы и явления и т.п.).

Разработка теории формирования и эволюции техногенно-геохимических систем, возникающих вследствие физико-химической мелиорации геологической среды. Здесь существенное значение прежде всего имеют фундаментальные исследования в области геохимии породообразующих и техногенно типоморфных элементов и соединений в условиях зоны гипергенеза с привлечением арсенала средств химической термодинамики и кинетики. Разработка этой проблемы сопровождается выявлением химических (или физико-химических) причин изменения физического состояния и физико-механических

свойств определенных участков геологической среды и связанных с этим возникновением и развитием инженерно-геохимических процессов и явлений, обусловливающих преобразование массивов и толщ грунтов и технологическую переработку грунтовых масс в ходе применения методов технической мелиорации.

Суммарным отражением достижений в решении фундаментальных инженерно-геохимических проблем может служить создание учения о геохимических носителях физико-механических свойств грунтов, а также дальнейшее развитие и совершенствование представлений о геохимически оптимальных методах физико-химической мелиорации грунтов, в том числе химически загрязненных, что обеспечит благоприятные условия для перехода к решению прикладных задач.

Разработка принципов и методов создания и исследования физико-химических и математических моделей соответствующих систем и процессов с учетом их развития во времени. Моделирование условий формирования и развития техногенно-геохимических систем, связанных с искусственно преобразованными в ходе мелиорации участками, позволяет создать надежную основу перехода от преобладающих в настоящее время эмпирических, качественных приемов и методов к количественным, сопровождающимся пространственно-временными прогнозами. Применительно к задачам физико-химической мелиорации грунтов подобные разработки приурочены к изучению процессов дисперсии, сорбции, диффузионно-осмотического переноса, новообразования как при введении химически активных мелиорантов, так и в ходе эволюции техногенных грунтов и искусственно преобразованных участков геологической среды. Развитие теоретических представлений, методики и практических приложений в области моделирования тесно связано с разработкой современных методов контроля качества закрепления и натурных определений параметров формирующихся систем.

Управление геологической средой требует совершенствования и обновления важнейших технологий, среди которых представляется целесообразным отметить прогрессивность разработок в следующих направлениях:

1. Армирование и предварительное напряжение грунтов и грунтовых масс на основе специфических конструктивных решений с использованием различных технологий. К числу таких конструкций относятся свайные и траншейные стены, противофильтрационные диафрагмы из различных материалов, буронавивные и буроинъекционные сваи и анкеры, пространственные конструкции из крупнообломочных и закрепленных грунтов, армирование и предварительное напряжение грунтовых масс. Главные звенья научно-технического прогресса в этом направлении — создание современной отечественной техники, позволяющей выполнять работы с высокими технико-экономическими показателями, и разработка научно-обоснованных методов проектирования подобных конструкций и расчета их работы в различных инженерно-геологических и инженерно-строительных условиях.

2. Создание принципиально новых типов отечественного оборудования, позволяющего успешно осуществлять стабилизацию грунто-

вых массивов. Большое экономическое значение имеют также работы в области создания систем минимизации количества инъекционных скважин при технической мелиорации грунтов и полной автоматизации процесса разбивки сетки таких скважин, успешное осуществление которой должно сопровождаться полной автоматизацией ведения и контроля всех инъекционных работ.

3. Совершенствование и обновление методов управления геологической средой, основанных на реализации комплексных мероприятий по инженерной защите территории, технической мелиорации грунтов и экономном отношении к природным ресурсам.

Важным элементом научно-технического прогресса является разработка и освоение безотходных и ресурсосберегающих технологий. В гидрогеологии к ним относится очистка и многократное использование подземных вод в технологическом процессе, сельскохозяйственной мелиорации, горном деле. Для технической мелиорации грунтов наиболее отчетливые и масштабные перспективы в схеме безотходного производства заключаются в разработке и внедрении технологии получения качественных дорожно-строительных материалов путем укрепления дисперсных грунтов вяжущими с использованием отходов промышленности, энергетики и обогатительных комбинатов (в частности, использование для этих целей зол уноса, металлургических шлаков, отвальных пород, грунтов шламохранилищ).

Таким образом, в понятие "рациональное использование и управление геологической средой" входят:

1) гидрогеологическое, инженерно-геологическое и геокриологическое обоснование хозяйственного освоения территории, размещения крупных промышленных и энергетических объектов и других видов сооружений;

2) комплексный контроль за состоянием геологической среды в процессе эксплуатации объектов в целях предупреждения аварийных ситуаций;

3) обоснование регулирования техногенного воздействия на геологическую среду и проектирование природоохранных мер на основе оценки современного состояния геологической среды и прогноза ее изменения. Эти задачи, по существу, составляют содержание техногеомониторинга — системы контроля за состоянием геологической среды в условиях интенсивного техногенного воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теоретические основы инженерной геологии: Соц.-экон. аспекты. М.: Недра, 1985. 259 с.
2. Голодковская Г.А., Демидюк Л.М. Некоторые методологические вопросы оценки техногенных изменений геологической среды // Комплексные оценки и прогноз техногенных изменений геологической среды. М.: Наука, 1985. С. 11—17.
3. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 261 с.
4. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. М.: Недра, 1986. 160 с.
5. Воронкевич С.Д., Евдокимова Л.А., Злочевская Р.И. и др. Техническая мелиорация пород. М.: Изд-во МГУ, 1981. 342 с.

Ф. В. Котлов, Л. В. Бахирева, Ю. О. Зеегофер, Г. Л. Кофф

Итоги и задачи изучения изменения геологической среды в пределах городских и промышленных агломераций

Одной из характерных особенностей 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, на территории которых сосредоточено в настоящее время более 80% основных фондов народного хозяйства. Предусмотрено дальнейшее развитие промузлов и городов как в условиях интенсивно освоенной геологической среды сложившихся городов и агломераций, так и на вновь осваиваемых и легко уязвимых территориях Севера и Востока страны.

Анализ и прогноз изменений геологической среды в пределах городских и промышленных агломераций являются сложной проблемой, включающей одновременно анализ территориальных инженерно-хозяйственных особенностей, геологической среды, условий их взаимодействия. Эта проблема имеет различные целевые, масштабные, пространственно-временные аспекты. В настоящее время сложились три основных стратегии отношений к развитию городов и агломераций: 1) допущение их нерегулируемого развития; 2) искусственное регулирование (управление); 3) промежуточная стратегия, сочетающая "естественную" траекторию развития и управление ею.

Сегодня из-за несогласованности учета динамики природных и социально-экономических факторов, недостаточного организационного, правового, информационного, методического обеспечения зачастую преобладает первая стратегия, что вызывает многочисленные конфликтные ситуации разного свойства, в том числе усиление на территории городов, городских и промышленных агломераций изменений геологической среды, приводящих подчас к огромным ущербам народного хозяйства. Стоимость основных фондов нашей страны составляет более 1000 млрд руб., из них 400 млрд руб. — стоимость основных фондов различных зданий и сооружений. Ежегодное полное списание за счет износа, в том числе вследствие негативных изменений геологической среды, не менее 2,2 млрд руб. Затраты на компенсацию ущерба от опасных геологических процессов, наносимого основным фондам, остающимся в пользовании, не менее впечатляющие: так, только на компенсацию коррозионных потерь они составляют не менее 2,5 млрд руб. в год. Годовой объем работ в фундаментостроении (без учета гидротехнического и транспортного строительства) составляет около 5,9 млрд руб. (8—10% общей стоимости строительно-монтажных работ в стране)¹. Эти затраты,

¹ Строительство зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях / Под ред. М.Ю. Абелля. М.: Стройиздат, 1986. 105 с.

призванные обеспечить оптимальное состояние разноуровенных природно-техногенных систем, полностью зависят от состояния и прогнозируемых техногенных изменений геологической среды.

Направленность изменений геологической среды городских и промышленных агломераций обусловлена устойчивостью ее территориальных блоков. Рассмотрим в качестве примера характер изменений геологической среды урбанизированной криолитозоны, отличающейся рядом специфических особенностей: контрастностью геологического разреза, развитием сплошной, прерывистой и островной многолетней мерзлоты и связанных с нею криогенных процессов; тесной связью с биоконтуром, атмо- и гидроконтуром, состояние которых влияет на изменения строения и свойств пород; определяющей ролью водно-температурного режима и направленности изменений свойств пород; значительным влиянием изменений геологической среды на состояние экосистем; высокими темпами роста техногенных нагрузок; наличием в непосредственной близости от городов — ядер агломераций — огромных территорий, мало затронутых техногенезом или подвергающихся пионерному хозяйственному освоению.

Инженерно-геологические исследования на территории городских и промышленных агломераций криолитозоны показали, что активная хозяйственная деятельность вызывает существенные изменения природной обстановки, выражющиеся прежде всего в изменении водно-температурного режима слоя сезонного промерзания — оттаивания, в новообразовании и деградации мерзлоты, в проявлении тепловых осадок инженерных сооружений, многолетнего и сезонного пучения, развитии термокарста, образовании наледей и др. Наиболее резки изменения в зоне распространения высокотемпературных мерзлых пород. Так, при застройке г. Ургала (восточный участок БАМа) с 1974 по 1981 г. глубина сезонного оттаивания грунтов увеличилась в 1,5—2 раза, в результате чего образовались несливающаяся мерзлота и талики; вблизи отапливаемых зданий и теплотрасс грунты оттаивали на глубину 7—9 м, а на некотором удалении — на 3—5 м, при оттаивании происходила осадка земной поверхности на 0,2—1,3 м. Повышение температуры надмерзлотных вод сопровождалось их загрязнением (содержание сульфатов повысилось в 10 раз, хлоридов — в 17 раз). В этом и других примерах характер изменений геологической среды зависит не только от типа и интенсивности воздействия, строения и состояния пород, но и от естественной динамики геологических процессов.

Региональные техногенные изменения геологической среды особенно ярко проявляются на территориях промышленных агломераций, таких, например, как агломерация Западно-Сибирского нефтегазового комплекса, насыщенная нефтегазопромысловыми и нефтегазотранспортными сооружениями. Здесь на обширных площадях, измеряющихся сотнями квадратных километров, наблюдаются значительные и зачастую контрастные изменения геологической среды: аградация и деградация многолетней мерзлоты, заболачивание и осушение грунтовых толщ, химическое и физическое загрязнение почв, грунтов и подземных вод. Так, в полосе трасс северных

нефтегазопроводов резкое увеличение глубины сезонного оттаивания грунтов (в 2—3 раза), активизация термокарста, процессы термоэрозии, солифлюкции и пучения грунтов привели на ряде участков к выходу из строя ответственных сооружений. Активизация ущербообразующих геологических процессов наблюдалась в последние годы во многих городах и урбанизированных территориях криолитозоны: в Лабытнанги, Тазовском, Ныде (тепловые осадки, солифлюкция, морозное пучение, термоэрзия), в Салехарде и Воркуте (тепловые осадки, термоэрзия, пучение), Сургуте (новообразование мерзлоты, подтопления, увеличение глубины сезонного промерзания с 1,7—2,5 до 4 м и более), Якутске (тепловые осадки), Новом Уренгое (золовые процессы), Магадане (заболачивание, подтопление) и др.

Особенно опасны изменения геологической среды вследствие процессов термокарста и термоэрзии, приводящие к серьезным авариям сооружений. При сельскохозяйственном и промышленном освоении территории тундровых ландшафтов происходит образование искусственных озер, заболачивание, загрязнение почв и грунтовых вод. Разрушение гусеничным транспортом тундрового покрова вокруг городов приводит к быстрому развитию термоэрзационных и термокарстовых процессов, к образованию вокруг города-ядра биологически мертвых ландшафтов.

Проведя условную декомпозицию элементов геологической среды, отметим, что наибольшей динамичностью обладают подземные воды. Взаимодействуя с горными породами, рельефом, геофизическими и геохимическими полями, а в рамках геологической среды — с техносферой и другими блоками природы, подземные воды быстро реагируют на техногенные воздействия. Различные виды хозяйственной деятельности на территории городских и промышленных агломераций оказывают специфическое воздействие на подземные воды и, как следствие, вызывают различные изменения геологической среды. На территории современных городских и промышленных агломераций практически отмечаются все виды техногенного воздействия. На подземные воды наибольшее влияние оказывают водоотбор для хозяйственно-питьевых, технических, курортно-лечебных и промышленных целей, орошение или осушение в сельскохозяйственной зоне агломераций, застройка территорий, строительное водопонижение, сброс обработанных 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, изменения состава и температуры. Эти изменения приводят к нарушению состояния поверхностных биоценозов, осушению поверхностных вод, подтоплению и заболачиванию территорий интенсификации инженерно-геологических процессов — оползневых, золовых, суффозионно-карстовых, коррозионных, оседанию грунтов и др. Особенно значительные изменения прослеживаются в городах — ядрах агломераций. Так, в Ленинграде за 40 лет послевоенной эксплуатации гдовского горизонта уровень его понизился в центре города на 70—75 м, про-

тяженность пьезометрической депрессии достигла 120 км по длинной субширотной оси и 70 км по субмеридиональной. Изменения характера взаимосвязи поверхностного и подземного стока в результате длительной эксплуатации каменноугольных подземных вод в Москве вызвали оживление суффозионно-карстовых процессов, приведшее к серьезным аварийным ситуациям. Расширение площади орошаемых земель формирует региональный фон для подтопления городских территорий. Так, только в Узбекистане подтоплены более 100 городов и районов, в 76 из них эксплуатируются более 1000 скважин вертикального дренажа, стоимость которых достигает 36 млн руб.

Каковы же основные итоги и задачи изучения изменения геологической среды в пределах городских и промышленных агломераций?

Современный период развития народного хозяйства страны, в частности хозяйства урбанизированных территорий, характеризуется переходом от экстенсивных форм его ведения к интенсивным. Такой переход, намеченный XXVII съездом КПСС, имеет для страны не только огромное экономическое, но и экологическое значение, поскольку предполагает существенное снижение энергетических и вещественных потерь хозяйственных систем. Не секрет, что именно эти потери определяли до настоящего времени основную долю негативных изменений природных систем, в том числе и геологической среды городских и промышленных агломераций. Таким образом, переход от экстенсивных форм ведения хозяйства к интенсивным означает и поворот во взаимоотношениях хозяйственных и природных систем в сторону равновесного природопользования.

Как известно, концепция равновесного природопользования опирается на два основных положения: во-первых, переход к ресурсо-сберегающему производству, во-вторых, переход к управлению хозяйством, ориентированному не только по обычным экономическим критериям перспективного состояния хозяйственных систем, но и дополнительно по критериям перспективного состояния систем природных.

Для урбанизированных территорий основой для определения таких критериев являются три социально-экономические функции геологической среды, введение которых будет естественным, если рассматривать ее и как среду, и как средство производственной деятельности. Прежде всего к ним относятся функции источника сырьевых и энергетических ресурсов, а также функция литогенной основы техногенных ландшафтов в целом и материального ресурса для размещения городских и агломерационных хозяйственных систем в частности. Наконец, к ним относится и функция, пока еще плохо осознаваемая в качестве социально-экономической, заключающаяся в способности геологической среды к переносу и преобразованию вещественных и энергетических потерь хозяйства. Вместе с тем эта функция имеет исключительно важное значение для управления в области рационального использования геологической среды, поскольку недоует последний техногенного изменения закономерностей переноса и преобразования вещества и энергии в геологической среде может приводить к существенным экономическим по-

терям, о чем свидетельствует уже немалый опыт. С другой стороны, изучение и исследование этих закономерностей дает принципиальную возможность сохранять или создавать состояния геологической среды, благоприятные для функционирования хозяйственных систем.

Следует отметить, что необходимость взаимоувязанного рассмотрения указанных функций геологической среды впервые и наиболее ясно была прочувствована в рамках инженерной геологии городов, поскольку именно в пределах городских агломераций приходится сталкиваться с необходимостью использования геологической среды и в качестве источника минеральных ресурсов (в первую очередь, подземных вод), и в качестве среды для размещения инженерных сооружений. Применительно к этим же территориям впервые в трудах Ф.В. Котлова, а затем Е.М. Сергеева, Г.А. Голодковской и многих других было отмечено огромное значение техногенных изменений геологической среды, влияющих на условия не только строительства, но и последующей эксплуатации городских хозяйственных систем. Иными словами, в этих трудах было показано, что техногенные изменения геологической среды оказывают существенное влияние на возможность эффективного использования первых двух (ресурсных) ее функций.

В последние годы стал также вполне очевидным факт существенного влияния изменений геологической среды урбанизированных территорий на состояние ресурсов, принадлежащих природным системам, составляющим основные элементы наземного ландшафта (водные объекты, почвы, растительность). В связи с этим очевидным является и то, что вызываемые функционированием городских хозяйственных систем 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. Причем это взаимовлияние определяется прежде всего функционированием их водохозяйственных компонентов. Представляется, что исключение анализа такого рода взаимовлияний из предмета инженерной геологии городов было бы абсолютно неоправданным. Если согласиться с этим, то можно видеть перспективу постепенного слияния инженерной геологии городов с инженерной геологией городских агломераций. Понятно, что при такой постановке нельзя будет, как это было до настоящего времени, ограничиваться лишь научным обоснованием множества проектов строительства в пределах той или иной территории, а следует ориентировать такое научное обоснование на более широкую задачу управления в области рационального использования природных ресурсов, в том числе ресурсов геологической среды.

Отсюда можно полагать, что перспективной целью развития инженерной геологии промышленных и городских агломераций, которую необходимо формулировать уже в настоящем, является создание теоретических основ управления техногенными изменениями геологической среды. Разработка таких основ и следующих из них

методических положений, включающих вопросы регламентации организационных структур и процедур исследования геологической среды агломераций, должна в соответствии с концепцией равновесного природопользования обеспечить информационный базис для определения долгосрочных и перспективных целей территориального управления в области использования геологической среды, а также путей и средств их достижения.

Как известно, основными элементами управления являются планирование, организация, а также оперативное управление (регулирование). Задачей планирования является определение долгосрочных (на 20 лет и более), перспективных (на 10 и 5 лет) и более близких (например, на год) целей управления тем или иным объектом. Задачей организации является создание новых или использование старых структур и процедур для достижения целей управления. И, наконец, задачей регулирования является оперативное влияние на процесс достижения целей на базе контроля за изменениями объекта управления, т.е. соответствующего блока геологической среды.

В настоящее время правовой основой развития исследований геологической среды городских и промышленных агломераций применительно к обслуживанию территориального управления, помимо государственных законов об охране природы, является целый ряд соответствующих постановлений ЦК КПСС и Совета Министров СССР и прежде всего постановление от 1 декабря 1978 г. "О дополнительных мерах по усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов". С этим постановлением связано возникновение в стране системы так называемого экологического планирования, являющегося в настоящем неотъемлемой составной частью государственного планирования в СССР. Полезно также отметить, что этим постановлением была введена новая форма долгосрочного планирования охраны окружающей среды — территориальные комплексные схемы охраны природы (ТКС ОП). Они должны составляться и уже составляются для союзных и автономных республик, краев и областей, городов и крупных промышленных центров, отдельных регионов и природных комплексов.

Основная задача ТКС — определить комплекс целей и мероприятий по сохранению и рациональному использованию окружающей среды соответствующей территории, сообразуясь с долгосрочными перспективами развития народного хозяйства и демографических процессов. Ясно, что ТКС ОП, являясь формой долгосрочного планирования, представляют собой и мощный инструмент для определения промежуточных экологических целей и средств их достижения в рамках иерархии всех форм территориального планирования, осуществляемого на более близкое время (т.е. в схемах районной планировки, технико-экономического обоснования и генпланов городов, схемах развития и размещения производительных сил, в планах и проектах социального и экономического развития производственных и планировочных зон, планировочных районов, проектов детальной планировки и др.).

Научная концепция ТКС ОП базируется на применении програм-

мно-целевого подхода к совокупному решению экономических и экологических проблем при обязательном учете хозяйственных и природных особенностей территорий. Относительно небольшой, но полезный опыт, полученный при разработке геологических разделов ТКС Институтом литосферы АН СССР, МГУ и рядом других организаций, позволяет отметить содержательную ценность научной концепции указанных схем для выявления проблем, стоящих перед инженерной геологией как наукой, которой обеспечить управление в области рационального использования геологической среды. Эта ценность прежде всего заключается в следующих основных требованиях, предъявляемых к информационному обеспечению ТКС.

1. ТКС ориентируют инженерно-геологические исследования на получение комплексной прогнозной информации о состояниях и изменениях геологической среды, обусловливаемых развитием территориальных хозяйственных систем. При этом такая информация должна характеризовать геологическую среду как единую систему, сопряженную и взаимодействующую с внешними по отношению к ней природными и хозяйственными системами.

2. Поскольку управление невозможно осуществлять без декомпозиции управляемого объекта, ТКС требуют выделения в рамках геологической среды подсистем, являющихся в смысле управления относительно автономными. Это позволяет рационально дифференцировать управляющие воздействия в пределах территории с учетом взаимодействий выделенных объектов с внешними по отношению к ним системами.

3. ТКС требуют обоснования и применения комплекса экономических и экологических критериев состояния геологической среды, необходимых для оценки альтернатив хозяйственного развития, а также обоснования плановых показателей состояния геологической среды, без которых невозможно последовательное достижение целей управления. При этом комплекс оценочных критериев должен включать критерии, позволяющие оценивать состояние геологической среды и степень ее изменений не только по отношению к условиям функционирования материально-технических объектов, но и по отношению к использованию природных ресурсов территорий, а также по отношению к состоянию здоровья населения.

4. ТКС предусматривает выявление приоритетных территориально дифференцированных проблем использования геологической среды в рамках некоторого набора альтернатив, устанавливаемых исходя из анализа состояний геологической среды в настоящем и на перспективу. При этом выбор указанных проблем для первоочередного разрешения оптимизируется путем сопоставления с аналогичными проблемами, выявляемыми по остальным компонентам природы. Ясно, что такая оптимизация возможна лишь в случае использования некоторых общих для природных систем критериев состояния. Ими являются экономические и экологические критерии, предназначенные для оценки влияния техногенных изменений природных систем на состояние материально-технических объектов, использование природных ресурсов, а также на здоровье населения.

Перечисленные выше требования отвечают всей иерархии форм территориального планирования. Поэтому их выполнение — необходимое условие эффективного использования результатов научных исследований и практических работ по изучению геологической среды городских и промышленных агломераций в системе территориального управления. Иными словами, проблемы управления в области рационального использования природных ресурсов на данном этапе являются организующим базисом для формирования и решения проблем инженерной геологии городских и промышленных агломераций. Мало того, эта предпосылка позволяет с большей, чем до сих пор ясностью сформулировать не только методические и практические проблемы рассматриваемой области знания, но и поставить проблемы, близкие к фундаментальным. Возможность постановки последних до сего времени многим представлялась спорной.

Без претензий на полный анализ всего круга проблем, который невозможно осуществить в рамках относительно краткого доклада, целесообразно далее остановиться лишь на тех из них, решение которых, можно полагать, способно обеспечить ощущимое движение к перспективной цели развития инженерной геологии городских и промышленных агломераций, сформулированной ранее.

Касаясь области теоретических вопросов, целесообразно сначала обратить внимание на необходимость уточнения некоторых основных понятий и терминов, а затем перейти к уточнению объекта инженерной геологии агломераций.

Первое необходимо, поскольку процесс неудержимого и порой безграмотного словотворчества, наблюдаемый ныне в научных публикациях по экологическим вопросам, в значительной мере мешает логическому осмыслению и обсуждению научных проблем, в том числе и тех, которые далее будут затронуты в докладе. Второе необходимо в связи с потребностью рассматривать геологическую среду как единую систему, взаимодействующую с внешними по отношению к ней природными и хозяйственными системами, что уже было отмечено.

Учитывая мучительность споров о терминах и понятиях, по первому вопросу целесообразно остановиться лишь на одной из версий, представляющейся авторам логичной.

Прежде всего следует указать, что термин "геологическая среда" в определении Е.М. Сергеева — Ф.В. Котлова прочно вошел в науку. Тем не менее по своему смыслу он отнюдь не претендует на замещение понятия "литосфера", которое определяет естественную глобальную систему, включающую в качестве подсистемы геологическую среду. Однако литосфера (это понятие возникло в "большой" геодинамике, или динамике коровых плит) как объект слишком велика, чтобы соответствовать предмету инженерной геологии (мощность литосферы, как известно, достигает сотен километров). Если принять к употреблению понятие "гидролитосфера", предложенное П.Ф. Швецовым и обозначающее верхнюю водно-каменную (т.е. содержащую гравитационную воду) подоболочку литосферы, в дальнейшем отпадает необходимость использования такого термина, как "под-

земная гидросфера". Правомерность и полезность употребления понятия "гидролитосфера" определяется еще и тем, что оно подчеркивает единство объектов инженерной геологии и гидрогеологии. Последнее следует из того, что в рамках современной гидрогеодинамики и гидрогеохимии вода не рассматривается без вмещающих ее горных пород, так же как в инженерной геодинамике, грунтоведении и некоторых других науках — горные породы без воды.

Таким образом, можно, по-видимому, согласиться с тем, что геологическая среда является техногенно измененной подсистемой гидролитосферы.

Далее, целесообразно заметить, что, учитывая необходимость обеспечения задач управления, приходится считаться и с термином "недра", широко употребляемым в горном деле, экономической и юридической науках. Узаконен он и природоохранным правом. Как известно, этот термин используется в связи с охраной и рациональным использованием минеральных ресурсов гидролитосферы, в то время как термин "геологическая среда" — в связи с использованием ее пространственно-материальных ресурсов. Здесь, по-видимому, следует идти на компромисс и использовать термин "гидролитосфера" в тех случаях, когда речь идет и о комплексном использовании ее ресурсов.

Термином "хозяйственная деятельность" обычно и, можно полагать, правомерно обозначаются процессы, происходящие в техносфере. Техносфера, согласно А.Е. Ферсману и С.В. Калеснику, представляет собой материальную часть общественной системы — социосферы, взаимодействующую с природными системами. В рамках техносферы выделяются хозяйствственные (технические) системы, являющиеся основными компонентами техносферы и объединяющие материально-технические средства производственной (и сопутствующей ей) деятельности, а также технологические процессы, соответствующие целям производства. Такими хозяйственными системами, например, являются: промышленность, сельское хозяйство, строительство, жилищно-коммунальное хозяйство и т.д. Главными подсистемами техносферы целесообразно считать те, которые отличаются наибольшим разнообразием средств и процессов (например, градо- и агропромышленные системы, территориальные топливно-энергетические комплексы и т.д.). Полагая, что специфика хозяйственных систем, как указывалось, вызывает и определенные соответствующие им изменения гидролитосферы, можно считать уместным употребление в качестве термина свободного пользования определения типа "геологическая среда городской агломерации", "геологическая среда промышленной агломерации" и т.п.

Эволюция гидролитосферы (как и всех других природных систем), обусловленная взаимодействием ее с компонентами техносферы (а не собственно человеком) определяется в развитии идей А.Е. Ферсмана понятием "техногенез". Соответственно изменения геологической среды и процессы, их обуславливающие, а также факторы возникновения последних, определяются как "техногенные".

Наконец, несколько слов о "биосфере", "ноосфере" и экологии.

В этой связи представляется полезным высказать суждение, ранее приводившееся В.И. Крутым в известной работе "Введение в общую теорию Земли". Суть суждения сводится к тому, что ноосфера есть вторая (первая — техносфера) подсистема социума (социосферы). Эта сфера является идеальной, представляя духовную жизнь общества (знание, искусство, культура). Поэтому переход вполне материальной "большой" биосфере В.И. Вернадского в ноосферу не вполне понятен. Другое дело, что в ноосфере в настоящее время идут процессы формирования нового, экологического знания, направленного на рационализацию взаимоотношений общества и природы. Далее полезно обратить внимание, что факт появления в биосфере (т.е. биосфере В.И. Вернадского) зон, искаженных в результате природно-технических взаимодействий, позволил в недавнем прошлом Ю. Одому говорить о необходимости выделения новой геосферы, а именно экосферы, являющейся объектом современной экологии, или экологии окружающей среды. Экосфера включает в себя как неизменные биотические, абиотические и смешанные компоненты-системы, так и измененные. В связи с этим, по-видимому, правомерно согласиться с мнением В.И. Круты о том, что именно с экосферой, а не с ноосферой связан новый этап развития биосферы В.И. Вернадского в материальном мире. Высказанное, по крайней мере, объясняет, какое отношение имеет инженерная геология городских и промышленных агломераций к проблемам экологии: экологическому управлению в целом, экологическому планированию в частности.

Переходя к объекту инженерной геологии городских и промышленных агломераций, отметим, что согласно определению Е.М. Сергеева геологическая среда — это многокомпонентная вещественная система. 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 такая необходимость ощущалась в отношении как измененной, так и не измененной техногенезом части этого слоя. Поэтому можно считать, что появление термина "гидролитосфера" обязано в значительной степени появлению понятия "геологическая среда". Без осознания необходимости рассмотрения геологической среды как комплексной системы, пожалуй, невозможно сейчас удовлетворительно решить ни одной практической задачи, связанной с геологическим обоснованием хозяйственной деятельности, с анализом и прогнозом изменений геологической среды.

Однако хотелось бы подчеркнуть, что в вещественном отношении главная особенность геологической среды как подсистемы гидролитосферы заключается не в комплексности, а в том, что в ней наряду с естественным распространено вещество техногенное (искусственное). Это вещество является или продуктом функционирования

технических систем, или же веществом объектов техносферы. Именно это обстоятельство в вещественном отношении является тем признаком, который оправдывает выделение геологической среды в особую систему.

Тем не менее следует отметить, что сделанные уточнения не исчерпывают проблемы обоснования геологической среды прежде всего потому, что не могут до конца обусловить ее границы.

Для решения поставленного вопроса важно подчеркнуть необходимость понимания геологической среды как среды протекания природно-техногенных процессов, обусловленных взаимодействием с внешними по отношению к ней системами, технической разновидности которых отводится доминирующая роль. С учетом этого можно полагать, что верхняя граница геологической среды соответствует поверхности, которая определяет энергомассообмен геологической среды с атмосферой, гидросферой и биосферой (в узком понимании), а также техносферой. Характер этого обмена обуславливается 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 (ландшафтной оболочкой), если следовать определению академика Б.Б. Польнова. Характер энергомассообмена изменяется во времени и пространстве. Первично эти изменения определяются развитием техносферы, а вторично — развитием техногенных изменений в ландшафтной оболочке, влияющем на положение и состояние верхней границы геологической среды. Границы геологической среды в гидролитосферном пространстве также изменяются во времени по мере развития техногенных процессов. Характер энерго- и массообмена на этих внешних границах геологической среды в существенной мере определяется геоструктурными особенностями территории. Указанное, наряду с дискретностью территориального распределения хозяйственной деятельности, обуславливает подвижность границ геологической среды во времени, а также дискретность ее пространственной организации.

Таким образом, главным фактором возникновения и последующих изменений геологической среды в пределах городских и промышленных агломераций является хозяйственная деятельность. Это означает, что развитие геологической среды не может полностью регулироваться естественными факторами, определявшими в прошлом развитие гидролитосферы. Иными словами, геологическая среда не является полностью саморегулирующейся системой и нуждается в управлении. В социально-экономическом плане, как понятно из предыдущего, цель такого управления определяется тем фактом, что изменения геологической среды могут прямо или косвенно (влияя на использование природных ресурсов и здоровье населения) нарушить условия функционирования хозяйственных систем, а это может приводить к значительным потерям (связанным с повышением издержек производства и снижением темпов роста). Отсюда целью управления следует считать минимизацию неблагоприятных последствий изменений

ний геологической среды при одновременной минимизации затрат на создание или поддержание ее состояний, благоприятных для хозяйствования. Деятельность, соответствующая достижению сформулированной цели, определяется как рациональное использование и охрана геологической среды. Причем охрана геологической среды понимается как разновидность деятельности по ее рациональному использованию. Содержание этой деятельности в целом сводится к направленному планированию, организации и реализации комплекса мер, которые можно условно определить как природоохранные мероприятия. Эти мероприятия, являясь средствами управления, объединяют не только материально-технические средства и технологические процессы, но и меры по научному, информационному и организационно-техническому их обеспечению.

Представляется, что предлагаемые выше уточнения объекта инженерной геологии городских и промышленных агломераций, хотя и не исчерпывают первой проблемы, но достаточны для постановки и обсуждения следующей. Она возникает в связи с необходимостью декомпозиции геологической среды применительно к обслуживанию территориального управления. Дело в том, что его реализация подразумевает выделение в геологической среде относительно автономных с этой точки зрения объектов, что вполне понятно, если иметь в виду аналогию управления хозяйственными системами. Мало того, указанное выделение объектов-систем должно удовлетворять и требованию их сопряженного рассмотрения с внешними по отношению к ним системами. В известной мере речь идет о выделении в геологической среде ячеек, подобных биогеоценозам в биологии и геосистемам в географии.

Проблему можно конкретизировать, поставив вопрос о том, отвечают ли используемые в настоящее время принципы выделения инженерно-геологических таксонов задачам управления? Приходится констатировать, что не вполне. Хотя в этом направлении и сделаны первые шаги, приведшие к понятию "тип геологической среды".

Здесь нужно оговориться, что в данном случае имеется в виду отнюдь не уровень в иерархии еще одной из многих формальных классификаций, включающей наряду с типом классы, виды, разновидности и т.д., как это нередко понимается, а некоторый "образ" существующего в натуре объекта-системы, способного к определенным техногенным изменениям. Тем не менее границы "типов геологической среды", устанавливаемые по границам резкой смены состава, свойств и строения горных пород, не являются в общем случае границами, позволяющими одновременно локализовать и зоны проявления, и зоны формирования всех техногенных геологических процессов, развивающихся в пределах выделенных объектов. В рассматриваемом случае типизация это условие более или менее соблюдается для процессов так называемой трансформации горных пород (т.е. процессов их физико-химического и механического преобразования) и далеко не всегда соблюдается для процессов, водо-, тепло- и массообмена (переноса).

В то же время без одновременной локализации в рамках общих

границ зон формирования как тех, так и других процессов (и соответственно зон изменения геологической среды) невозможно говорить об автономности выделенных объектов с позиций управления.

Выход из создавшегося положения целесообразно искать, учитывая различную меру локализации в природе процессов трансформации и переноса. Известно, что зоны формирования последних значительно больше. Поэтому, если принять за базис выделения подсистем геологической среды закономерности локализации процессов водообмена, то можно полагать, что в границах зон их формирования будут локализованы и зоны формирования процессов трансформации. Выделенные таким образом подсистемы геологической среды, являющиеся главными ее компонентами, целесообразно вслед за П.Ф. Швецовым определить как "водообменные литосистемы".

Представляется, что предлагаемый подход в большей мере соответствует естественной таксономии гидролитосферы (т.е. естественному порядку ее организации) и не противоречит предметам ни инженерной геологии, ни гидрогеологии. Действительно, нетрудно видеть, что компонентами бассейновых литосистем являются как "типы геологической среды" (например, объемные склоны или их элементы), так и водоносные горизонты, пласты и т.п.

Наиболее распространенным типом водообменных литосистем являются бассейноворечные, обоснованию выделения которых наибольшее внимание удалено в работах Института литосферы АН СССР. Специфика выделения такого рода литосистем заключается в том, что речные бассейны рассматриваются как объемные элементы, границы которых соответствуют границам зон дренирования, обусловленных водотоками того или иного порядка. Литогенная основа бассейнов в этих границах при равных внешних условиях определяет индивидуальность протекания всего комплекса экзогенных геологических процессов, включая и процессы технической трансформации горных пород. В то же время использование естественной иерархии объемных бассейнов открывает возможность упорядоченного их рассмотрения в зависимости от задачи управления, обеспечивая четкое определение границ, в которых локализуется влияние процессообразующих факторов, независимо от того, являются они естественными или техногенными. Мало того, естественная иерархия этих систем в случае техногенного нарушения границ того или иного бассейна позволяет локализовать влияние факторов техногенеза в границах бассейна более высокого порядка (при увеличении порядка бассейна увеличивается площадь и глубина, т.е. объем изучаемого объекта-системы).

Указанное делает выделенные системы удобными для управления, поскольку они в данном случае являются относительно замкнутыми с точки зрения распространения влияния факторов техногенеза. Дополнительными преимуществами использования обусловленной таксономии является возможность сопряженного рассмотрения техногенных изменений всей совокупности природных систем, взаимодействующих с геологической средой, при условии локализации их в пределах общих плановых границ, т.е. верхних границ бассейноворечных

литосистем. Наконец, такая таксономия представляется удовлетворительной и с позиций так называемого биосоциального (природно-технического) районирования территорий, конечным таксоном которого, согласно мнению известного советского экономиста П.Г. Олдака, является хозяйственный или территориально-производственный комплекс в границах водосбора.

Следует отметить, что приведенный пример далеко не исчерпывает проблему выделения водообменных литосистем. В связи с этим достаточно указать, что декомпозиция геологической среды аридных зон или криолитозоны, без сомнения, будет иметь свою специфику. Тем не менее представляется, что дальнейшая разработка поставленной проблемы может дать мощный импульс разработке целого ряда прикладных проблем, включая обоснование картографических моделей геологической среды, комплексных систем режимных наблюдений в составе гидролитомониторинга, а также комплексных инженерных изысканий.

Следующая проблема, на которой следует кратко остановиться, тесно связана с предыдущей и касается систематики и описания геологических процессов в рамках подсистем геологической среды. Ее решение имеет непосредственный выход на проблему прогнозного моделирования не отдельных геологических процессов (что в настоящем стало обыденным делом), а их совокупностей или, правильнее, цепей, звенья которых состоят как из процессов трансформации, так и процессов переноса вещества и энергии. Это ведь и наблюдается в природных системах.

В последнее время во всех естественных науках усиливается точка зрения, заключающаяся в том, что для построения моделей, обладающих достаточно широкими возможностями прогноза, необходимо использовать "общие законы" природы. Иными словами, предпочтение отдается детерминированным моделям, базирующимся на использовании фундаментальных законов физики и химии — законов сохранения. Это обстоятельство в известной мере определяется тем, что именно детерминированные имитационные модели принципиально позволяют наиболее полно исследовать внутренние и внешние взаимосвязи природных систем, а также взаимосвязи последних с хозяйственными системами. В то же время вероятностные модели в условиях быстрого изменения закономерностей моделируемых техногенных процессов оказываются менее надежными. Тем не менее вопрос оптимального соотношения вероятностных, детерминированных и других элементов в имитационных моделях разных типов далеко не решен. При этом очевидно, что возможность прогнозирования техногенных изменений геологической среды теми или иными методами для разных типов моделей будет различна в зависимости от сложности моделируемых объектов (т.е. количества значимых взаимосвязей между их компонентами, которые следует учитывать при их модельном описании), исходного наличия и видов информации, долгосрочности прогнозов и т.д.

Решение вопроса о сложности моделируемых объектов разных уровней, являющегося основным при выборе имитационных процедур,

в существенной мере зависит от совершенства систематики внутренних и внешних взаимоотношений между отдельными звенями процессов. В связи с этим полезно обратить внимание на усиление в последнее время тенденции, заключающейся в том, что в качестве базовых моделей, предназначенных для имитации техногенных изменений природных систем (т.е. моделей, на основе которых возможно рациональное последовательное усложнение моделей в целом), все в большей мере начинают использовать модели, описывающие их водо- и теплообмен. В этой тенденции, можно полагать, отражается осознание водо- и теплообмена как главного фактора, определяющего характер взаимосвязей в иерархии природных систем. Оценивая в целом имеющиеся тенденции, можно говорить о перспективности систематики в описании систем процессов в геологической среде на базе физико-геологических представлений. Действительно, в соответствии с ними вид, интенсивность и взаимообусловленность процессов соответствуют свойствам среды их протекания (т.е. свойствам вещественных компонентов системы и их структурной организации), а также внешним и внутренним воздействиям и взаимодействиям. Формой же выражения свойств среды, состояния процессов, воздействий и взаимодействий в целом являются так называемые параметры процессов (гидрологические, теплофизические и др.). Их совокупность соответственно включает параметры среды (например водопроводимость, температуропроводность, физико-механические свойства пород); граничные и внутренние условия, т.е. кинематические и (или) динамические условия их протекания. Привнесение в геологическую среду факторов техногенеза не меняет присущих ей законов переноса и трансформации вещества и энергии. Оно лишь модифицирует условия проявления соответствующих процессов, а также их следствия. Поэтому, согласно физико-геологическому подходу, вопрос учета техногенных факторов легко решается, если представить их в качестве привнесенных в естественную систему новых граничных и внутренних условий протекания процессов.

Таким образом, целостное описание техногенных литосистем возможно осуществить на основе использования параметров процессов, причем не только в качественной, но и в количественной форме. Последнее в общем случае зависит от вида имеющейся информации.

Изложенный подход весьма удобен применительно к целям управления, поскольку параметры геологических процессов могут быть нормированы и использованы в качестве прогнозных и плановых показателей состояния геологической среды. При этом установление закономерностей изменения геологической среды, а также механизма их влияния на технические и природные системы в рамках водообменных литосистем того или иного уровня составляет физико-геологический аспект подготовки природоохранных мероприятий.

Следующая весьма важная проблема связана с необходимостью оценки благоприятности наблюдаемых и перспективных состояний геологической среды для хозяйствования. Осуществление такой оценки составляет эколого-экономический аспект обоснования при-

родоохраных мероприятий. Критериями такой оценки в экологическом плане могут являться показатели геологических процессов, регламентированные необходимостью достижения некоторого состояния геологической среды, благоприятного с позиций хозяйствования.

Экологическая оценка последствий изменений геологической среды осуществляется по результатам ретроспективного анализа или же на базе прогнозных результатов. И в том и в другом случае она является преимущественно неформальной процедурой и сводится к установлению качества геологической среды применительно к санитарно-гигиенической обстановке, состоянию материально-технических объектов и природных ресурсов. Для этого, как указывалось, используются нормативные показатели. В случае же их отсутствия оценка качества геологической среды может осуществляться на базе знания механизма влияния изменений геологической среды в перечисленных ранее аспектах. Тем не менее представляется полезным рассмотреть указанную процедуру дополнительно, взяв в качестве наиболее интересного примера оценку последствий влияния изменений геологической среды на природные ресурсы. В этом аспекте оценка осуществляется в трех видах и включает учет влияния изменений на:

качество подземных вод, используемых в городе в различных целях;

растительные фитоценозы;

собственно геологическую среду как пространственно-материальный ресурс, используемый для решения тех или иных видов хозяйственных систем.

Первый из перечисленных видов оценок имеет разработанную нормативную базу и может легко быть осуществлен при наличии сведений о конкретных требованиях к качеству воды и информации о фактическом ее качестве, в том числе и с учетом тенденций его изменения, устанавливаемых в рамках физико-геологического анализа.

Второй вид оценки не имеет в настоящее время почти никакой нормативной базы, в результате чего она осуществляется на основании знаний о том, например, что изменение положения уровней грунтовых вод будет влиять на изменение в составе растительных фитоценозов. Причем для оценки тенденций следует прибегнуть к обобщению результатов соответствующих исследований, проведенных не только в пределах рассматриваемой территории, но и других территорий, сходных с нею по природным условиям.

Наконец, третий вид оценки наиболее сложен. Прежде всего для ее осуществления необходимо узнать: применительно к какому виду освоения она должна осуществляться? В том случае, например, если территория предназначена для наземного строительства, то этот аспект оценок в целом обеспечен необходимой нормативной базой и в содержательном плане она сводится к оценке инженерно-геологической обстановки в пределах оцениваемого таксона геологической среды. Однако здесь возникают дополнительные сложности, связанные с тем, что существующие нормативы регламентируют состояние геологической среды применительно к размещению от-

дельных компонентов хозяйственных систем, но не размещению хозяйственной системы в целом, и тем более не к размещению нескольких хозяйственных систем в пределах одного таксона. Следовательно, дополнительно надо оценить нерегламентируемые эффекты их взаимовлияния, а в необходимых случаях и эффект взаимовлияния с хозяйственными системами, находящимися за пределами оцениваемого таксона. Все это можно сделать, лишь опираясь на результаты физико-геологического анализа ситуаций. Например, размещение в пределах объемного склона бассейноворечной литосистемы предприятий metallurgической и пищевой промышленности приносит априори экологический вред вследствие повышения биокоррозионной активности среды — воды, провоцируя развитие процессов сульфат-редукции. Вместе с тем влияние водоотбора из водоносных горизонтов снижает уровни грунтовых вод и вследствие этого в экологическом плане благоприятно, поскольку улучшает качество геологической среды как пространственно-материального ресурса.

В принципе экологическая оценка сама по себе дает необходимые данные для определения комплекса природоохранных мероприятий. Например, в первом из рассмотренных случаев, когда подземные воды используются в целях кондиционирования, можно рекомендовать запрещение сброса теплых вод в горизонты, откуда добывается вода; во втором — постановку специальных научных исследований на базе организации стационарных наблюдений за изменениями уровней грунтовых вод и растительных фитоценозов; в третьем — устройство подземных коммуникаций, защищенных от влияния процессов сульфат-редукции, а также поддержание водоотбора на заданном уровне. Однако в последнем случае эти рекомендации необходимо рассмотреть в свете изменений, которые вызывает водоотбор подземных вод из глубоких горизонтов в других таксонах геологической среды (например, в соседних бассейноворечных литосистемах), поскольку он нередко является главным фактором изменений (т.е. внешним по отношению к литосистемам малого порядка).

Тем не менее, поскольку возможные затраты на природоохранные мероприятия не являются безграничными, экологическая оценка последствий должна по возможности дополняться оценкой экономической, позволяющей оптимизировать эти затраты. В этом направлении применительно к геологической среде пока делаются лишь первые шаги. Тем не менее некоторые основные положения экономической оценки последствий изменений указанной системы целесообразно привести.

Характер оценки последствий изменений геологической среды прежде всего определяется использованием последней в качестве природного пространственно-материального ресурса (ПМР), осваиваемого для размещения тех или иных хозяйственных систем. Поэтому для экономической оценки правомерно применить концепцию рентных оценок, рекомендуемую для природных ресурсов. Согласно этой концепции, дифференциальная рента (т.е. оценка ПМР) выражается разницей между замыкающими (регулирующими) и индивидуальными

затратами на освоение и эксплуатацию природного ресурса. Применительно к городскому хозяйству, индивидуальные затраты включают следующие статьи:

1. Затраты на научные исследования и инженерные изыскания, организацию и эксплуатацию литомониторинга.

2. Затраты на управление освоением и эксплуатацией объекта, включая планирование, проектирование, организацию и управлческий контроль.

3. Затраты на компенсацию отчуждения сельскохозяйственных земель, лесных, водных и других ресурсов, затраты на инженерную подготовку, инженерную защиту, строительное освоение и эксплуатацию.

4. Затраты на инвестиционный фонд, используемый для компенсации потерь, вызываемых стихийными бедствиями.

Нетрудно видеть, что все перечисленные статьи включают затраты на природоохранные мероприятия, доля которых в индивидуальных затратах может быть ощутимой.

Под замыкающими (регулирующими) понимаются предельно допустимые (применительно ко времени оценки) затраты на использование ресурса по тому или иному значению (т.е. для того или иного освоения). Они определяются уровнем развития народного хозяйства и в общем изменяются во времени. Поскольку освоение и эксплуатация ПМР геологической среды направлена на достижение определенного народнохозяйственного результата, то эффективность его достижения будет определяться разницей между регулирующими (замыкающими) и фактическими (индивидуальными) затратами на освоение и эксплуатацию ПМР. Причем, цитируя известного экономиста Ю.В. Сухотина, можно отметить, что "чем больше эта разность, тем больше народнохозяйственный эффект от хозяйственного освоения данного участка (и ущерб от его неиспользования)".

Рассматривая последний тезис в ретроспективном плане, можно прийти к следующему выводу:

Если в процессе частичного освоения ПМР геологической среды произошли негативные изменения, в результате которых на последующее его освоение (например, в рамках какой-либо бассейноворечной литосистемы) требуются большие повышенные затраты, то наблюдался экономический ущерб вследствие снижения качества ПМР. Причем величина его будет соответствовать разнице между индивидуальными затратами на освоение и эксплуатацию на первом этапе и индивидуальными затратами на последующем.

Из приведенного также следует, что в том случае, если ущерб произошел вследствие непринятия необходимых природоохранных мер (например, мер инженерной защиты) или их недостаточности, то величина ущерба будет соответствовать величине соответствующих затрат на защиту (при неизменном типе освоения). Экономическая сущность обусловленного ущерба видна из формулы определения эффективности капитальных вложений, переписанной применительно к рассматриваемому случаю:

$$У_{ПМР} = (C_2 - C_1) + E(K_2 - K_1), \quad (1)$$

где C_1 и C_2 — приведенные эксплуатационные (текущие) расходы на защиту в первоначальном и последующем вариантах; K_1 и K_2 — соответствующие капитальные вложения; E — коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (в данном случае) на защиту.

Таким образом, $Y_{\text{ПМР}}$ является реальным ущербом, понесенным хозяйством вследствие порчи ресурса. В том же случае, если рассматривать обусловленную выше ситуацию в перспективе, то можно говорить о $Y_{\text{ПМР}}$ как о предотвращенном ущербе. Причем, для того чтобы капитальные вложения в защиту были эффективны, E должен быть больше или равен некоторому нормативному коэффициенту E_n (принимается равным 0,12).

Анализируя вопрос образования ущербов вследствие негативных изменений геологической среды, далее можно прийти к выводу, что благодаря им на первом этапе освоения и эксплуатации территории был нанесен дополнительный ущерб, но уже хозяйственной системе, вследствие, например, разрушения зданий и сооружений, сокращения сроков их эксплуатации до ремонта и возобновления против нормативных. Величина этого ущерба (его можно назвать прямым ущербом хозяйству) оценивается суммой годовых (дополнительных к запланированным) приведенных затрат (текущих и капитальных вложений):

$$\sum_{i=1}^{j=m} Y_{\text{пп}} = \sum_{i=1}^{j=m} C_i + E_n K_i, \quad (2)$$

где C_i — эксплуатационные (текущие) расходы по i -му объекту; K_i — соответствующие капитальные вложения; E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, принимаемый равным 0,12.

Для расчета ущербов, понесенных хозяйством в результате негативных изменений геологической среды, а также определения экономической эффективности природоохранных мероприятий рекомендуется определить ряд экономических показателей, которые могут быть использованы применительно к геологической среде. Эти показатели следующие:

Чистый экономический эффект средозащитных мероприятий \mathcal{E} основывается на сопоставлении затрат Z на осуществление защитных мер с достигаемым благодаря им экономическим результатом P .

Экономический результат средозащитных мероприятий в том случае, если они одноцелевые, выражается в величине предотвращаемого благодаря этим мероприятиям годового экономического ущерба от негативных изменений среды P .

Для многоцелевых мероприятий экономический результат равен сумме величин предотвращаемого годового ущерба и годового прироста дохода D , т.е. $P=D+P$.

Предотвращенный экономический ущерб P равен разности между расчетными величинами ущерба, который наблюдался до реализации мероприятий Y_1 , и остаточного ущерба после проведения мероприятий Y_2 , т.е. $P=Y_1-Y_2$.

Если величины затрат и результатов в период строительства (реконструкции) и эксплуатации существенно не меняются, то сравнение вариантов средозащитных мероприятий проводится по величине их чистого экономического эффекта R . Выбор наилучшего мероприятия осуществляется по формуле $K = (P - 3) \rightarrow \max$. При этом $Z = C_c + E_n K_c$, где C_c — годовые эксплуатационные расходы на содержание средозащитных фондов; K_c — капитальные затраты на их создание.

Для оценки эффективности средозащитных мероприятий в аспекте геологической среды можно предложить дополнительный коэффициент, равный разнице ущербов Y_1 и Y_2 , отнесенной к их сумме. Его использование возможно в случае сохранения уровня освоенности какой-либо территории в границах той или иной литосистемы или ее элемента (например, оползневого склона).

Выбор рациональных природоохранных мероприятий в перспективе основывается на результатах поисковых прогнозов, а также экономической и экологической оценок перспективных ситуаций, осуществляемых на базе оценки предпрогнозного состояния геологической среды.

Проиллюстрированный ход осуществления экологических и экономических оценок показывает, что в самом направлении уже в настоящее время имеются необходимые базовые предпосылки, позволяющие надеяться на успешное решение проблемы в ближайшие годы.

Наконец, необходимо остановиться на самой, пожалуй, острой проблеме, без решения которой невозможно не только обеспечить эффективное управление в области рационального использования и охраны геологической среды, но и осуществить целенаправленное развитие практических работ и научных исследований геологической среды городских агломераций. Эта проблема может быть названа проблемой информационного обеспечения задач управления. В этой связи необходимо отметить, что она, как в настоящем становится абсолютно ясным, не может быть решена без создания комплексных систем прогнозирования изменений геологической среды, или, как их называют, АИС ПДМ (автоматизированные информационные системы постоянно действующих моделей).

Опыт создания АИС ПДМ геологической среды территории Московской агломерации, а также других подобных систем позволяет сделать некоторые общие выводы, которые, по мнению авторов, будут способствовать дальнейшему развитию исследований по созданию комплексных систем прогнозирования изменений геологической среды.

В первую очередь необходимо отметить, что единственным и эффективным способом совершенствования системы управления в области рационального использования и охраны геологической среды хозяйственно развитых территорий является создание и использование систем АИС ПДМ, включающих в качестве базовых автоматизированные и постоянно действующие банки данных. При этом информация, включаемая в такие банки, должна быть представлена как информацией фактографической, так и информацией, включающей сведения о теоретических моделях геологических процессов, которые могут

быть использованы в той или иной конкретной обстановке. Лишь такие банки данных позволяют оперативно получать и обрабатывать огромное количество информации по состоянию геологических объектов, а также осуществлять прогнозирование их техногенных изменений применительно ко всем формам территориального планирования. В этом смысле АИС ПДМ геологической среды являются по своему существу новым элементом организационной структуры территориального управления.

Приповерхностный слой гидролитосферы, включая ее техногенно измененную часть — геологическую среду, является базовой природной системой, объединяющей через процессы энерго- и массопереноса основные элементы ландшафта.

Поэтому можно полагать, что в некоторой отдаленной перспективе развитие ПДМ геологической среды может обеспечить задачи управления и в области рационального использования ресурсов, принадлежащих, по существу, всем основным системам, образующим "наземную" часть ландшафтной оболочки. Реальность такой перспективы ощущается уже на первых этапах создания ПДМ в связи, например, с реальной возможностью оценки влияния изменений поверхности грунтовых вод и режима влаги в ненасыщенной зоне на растительные сообщества, также на сток речных систем.

Однако ближайший перспективой развития собственно ПДМ геологической среды является более глубокое обоснование и реализация моделей теплопереноса (обмена), а также моделей физико-химической и морфической трансформации горных пород.

И те и другие модели принадлежат различным структурным уровням организации гидролитосферы, выявление которых представляет особую задачу, предваряющую непосредственное обоснование моделей. При этом наиболее интересной и вместе с тем сложной проблемой является построение моделей так называемых цепей процессов, состоящих из звеньев переноса и трансформации вещества и энергии, что было уже отмечено.

Несмотря на исключительную сложность достижения перспективных целей развития ПДМ, концепция их как систем совершенствующихся позволяет организационно преодолевать эту сложность путем влияния не только на постановку и проведение массовых научных наблюдений и инженерных изысканий, но и на постановку и проведение научных исследований по разработке моделей. Причем приоритетность осуществления тех или иных исследований определяется конкретными особенностями объекта прогнозирования, принадлежащего той или иной территории, а также интересами развития ее хозяйства. Понятно, что взаимосвязь АИС ПДМ с системой инженерных изысканий может эффективно обеспечить постановку опережающих исследований на основе непрерывного обмена информацией.

Использование ПДМ в системе управления имеет, согласно концепции ее создания, определенную этапность. Прежде всего оно сразу обеспечивается после создания комплекса региональных моделей геофильтрации и влагопереноса, поскольку вопрос рационального использования водных ресурсов, а также регулирования изме-

нений уровенного режима подземных вод является одним из основных при подготовке долгосрочных и перспективных планов, а также при обосновании конкретных проектов хозяйственных систем. На этом же этапе могут осуществляться и прогнозные оценки проявления более сложных геологических процессов в первую очередь механизм которых в существенной мере определяется изменениями гидрогеодинамической обстановки. В дальнейшем возможность оценки результатов прогнозов на базе использования данных массовых наблюдений и изысканий открывает перспективы в области целенаправленной организации научных исследований в аспекте уточнения старых и разработки новых моделей сложных процессов. Их обоснование требует значительного объема ориентированной информации, которую можно получить лишь на основе проведения дорогостоящих и трудоемких экспериментальных исследований, прежде всего — на натурных полигонах. Тем более эффективность таких исследований будет повышаться, если использовать регулирующую роль системы ПДМ, впрочем, так же, как исследований по обоснованию гидролитомониторинга в целом.

Наконец, важно отметить, что эффективность функционирования ПДМ, начиная с раннего ее этапа, в существенно мере зависит от подготовленности блока оптимизирующих моделей использующихся в рамках осуществления нормативных прогнозов и рационализирующих выбор наиболее целесообразных предложений по охране и использованию геологической среды той или иной территории. Относительно слабая разработанность таких моделей и вместе с тем острая необходимость их применения для организации надежных связей прогнозных исследований с плановыми позволяет считать разработку таких моделей первоочередной.

Дополнительно следует отметить, что эффективное использование АИС ПДМ в системе территориального управления требует специальной разработки организационных структур и процедур, обеспечивающих взаимосвязи таких систем с органами управления, а также вопросов финансирования работы таких систем. В настоящем открывается новый способ решения такого рода задач на базе создания временных межотраслевых научно-производственных комплексов.

Таковы в целом узловые современные проблемы инженерной геологии городских и промышленных агломераций, решение которых, как представляется, должно дать дальнейший импульс развитию этой ветви геологической науки.

*A. A. Варга, Г. С. Золотарев, И. А. Парабучев,
Н. Н. Романовский*

Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при крупном гидротехническом строительстве

С неослабевающими темпами в СССР продолжается крупное гидроэнергетическое строительство, важной особенностью которого является увеличение размеров отдельных сооружений. Обычным стало строительство плотин высотой 200 м и более. На р. Вахш построена крупнейшая в мире Нурекская плотина высотой 300 м из местных материалов. В настоящее время возводится еще более высокая Рогунская плотина высотой 335 м, причем в очень сложных инженерно-геологических условиях. Увеличение размеров сооружений существенно сказывается на масштабах их воздействия на геологическую среду. Не будет преувеличением отметить, что из всех видов инженерной деятельности человека современные гидротехнические сооружения оказывают наибольшее влияние на природную среду.

В связи с этим неизмеримо возросло практическое значение изучения взаимодействия гидротехнических сооружений с окружающей средой, необходимого для обоснования актуальных вопросов охраны и рационального использования геологической среды, для оптимизации проектирования конкретных сооружений, выбора способов выполнения строительных работ и режима эксплуатации с учетом техногенных изменений инженерно-геологических условий строительства. Значимость этих вопросов повысилась также ввиду пробуждения во всем мире интереса к экологическим проблемам. Стоимость водохранилища и, прежде всего, защиты прилегающей территории настолько увеличилась, что на ряде объектов (Средне-Енисейской ГЭС и др.) она стала решающим фактором при определении целесообразности строительства. Таким образом, перспективы крупного гидротехнического строительства тесно связаны с проблемой его взаимодействия с природной средой. В настоящем докладе рассматриваются лишь некоторые актуальные вопросы влияния современного гидроэнергетического строительства на геологическую среду.

Изменения геологической среды при строительстве плотин. Несколько лет назад при рассмотрении влияния гидротехнических сооружений на геологическую среду главное внимание уделялось воздействию водохранилища — подтоплению и переработке берегов. В настоящее время важное значение придается вопросам взаимодействия плотин, зданий ГЭС и других сооружений с их основаниями. Прогноз этих процессов необходим для оптимального проектирования и обеспечения надежности проектируемых сооружений. Следует отметить сложность такого прогнозирования в связи с многообразием

и многофакторностью воздействия сооружений напорно-станционного узла на геологическую среду.

Любое гидротехническое строительство изменяет напряженное состояние основания, причем сначала преобладает разгрузка в процессе разработки котлована или проходки подземной выработки, а затем — сжатие от веса возводимого сооружения. Техногенные нагрузки от сооружений увеличивают внутреннее напряженное состояние массива и вызывают обычно осадку поверхности. По данным Л.А. Молокова, осадка плотин на скальном основании завершается за 3—5 лет после заполнения водохранилища, для глинистых пород она может продолжаться 15—20 лет [2]. Особенностью напорных сооружений является большее или меньшее различие напряжений в их основании: под низовой гранью наблюдается максимальное сжатие, как это зафиксировано на Братской плотине. Правильное прогнозирование этих техногенных изменений напряженного состояния массива имеет большое значение при проектировании цементационных и дренажных завес и др.

Техногенное сжатие повышает, а техногенное разуплотнение снижает модуль деформации, сопротивление сдвигу и водонепроницаемость массива. Так, значительное снижение несущей способности хлоритизированных долеритов проявилось в зоне техногенной разгрузки по периметру строительного котлована Богучанской плотины. Разуплотнение массива, обычно сопровождаемое подъемом поверхности и раскрытием трещин, может значительно усиливаться под влиянием взрывных работ. Это наблюдалось во время строительства Колымской, Красноярской, Токтогульской ГЭС, ДнепроГЭС-2 и др. При разработке строительных котлованов в некоторых слабых породах нередко проявляются процессы техногенного выветривания, существенно ухудшающие их геотехнические свойства. Например, очень быстро выветриваются на поверхности нижнемеловые алевролиты, встречающиеся в основании Рогунской плотины, что препятствует их использованию в качестве строительного материала для тела плотины. Интенсивное выветривание протерозойских глинистых пород на участке Днестровской ГЭС снизило устойчивость правобережного откоса строительного котлована. Важное практическое значение имеют температурные изменения грунтов в строительных выемках. Промораживание глин в котловане Нижнекамской ГЭС, как показывают опыты, снижает их сдвиговую прочность на 15%. Еще большие изменения свойств связаны с растеплением многолетнемерзлых пород.

Исключительно велико влияние процесса строительства на устойчивость природных склонов и откосов строительных котлованов, особенно на участках развития древних оползней, а также выходов на поверхность подземных вод. Снижение устойчивости здесь связано с действием следующих техногенных факторов: подрезка нижних частей склона, пригрузка верхней части склона, влияние взрывов, смачивание или подтопление склона, техногенная разгрузка и выветривание, температурные воздействия. Эти факторы действуют обычно в различных сочетаниях. Оползень, образовавшийся в 1977 г.

над правобережным примыканием Миатлинской ГЭС, был спровоцирован подрезкой склона и взрывными работами в обходном туннеле [2]. В период строительства Ташкумырской ГЭС возник оползень объемом 200 тыс. м³ в результате повышенного увлажнения и подрезки склона автодорожной выемкой [1]. Опасность активизации древнего скального оползня в правобережном примыкании каменнонабросной плотины Богучанской ГЭС обусловлена, прежде всего, подтоплением берега при заполнении будущего водохранилища и т.д.

Большие осложнения в практике гидротехнического строительства вызывают фильтрационные деформации оснований сооружений в связи с выщелачиванием, эрозией, суффозией слабых пород или заполнителя трещин и карста. На Плявиньской ГЭС суффозионный вынос песка в котлован начался еще в период строительства. Во время эксплуатации гидроузла суффозия увеличилась и резко повысился дебит некоторых дренажных и пьезометрических скважин. Образовавшаяся сеть суффозионных каналов обусловила разуплотнение моренных грунтов и некоторую деформацию основания бетонных сооружений. На участке Зеленчукской ГЭС в основании дамб бассейна суточного регулирования залегают просадочные лёссовидные суглиники. Во избежание просадочных деформаций этих оснований проведен ряд мероприятий, в том числе покрытие дна бассейна экраном из уплотненного суглинка с полиэтиленовой пленкой. В основании уникальной Рогунской плотины расположен Ионахшский разлом с заполнителем из каменной соли. Для защиты ее от растворения принято интересное решение: устройство непосредственно за разломом напорных скважин с подачей в них солевого рассола, для удержания которого со стороны нижнего бьефа создается гидравлическая завеса с напором верхнего бьефа.

В основаниях сооружений напорно-станционного узла неизбежны значительные изменения фильтрационного режима подземных вод. Цементационные работы, нагрузка от плотины, а также промерзание пород снижают, а дренажные устройства, взрывные работы и распределение мерзлых пород увеличивают проницаемость массива. На цемзавесе создается перепад напоров. В случае арочной плотины Мальпассе (Франция) повышение напряжений в основании под весом сооружения привело к возрастанию фильтрационного давления и в конечном счете к широко известному разрушению плотины [2]. Необычно сильное влияние напряженного состояния основания на его водопроницаемость установлено на плотине Лангальда в Исландии. Изменение напора подземных вод может создать взвешивающее противодавление, понижающее устойчивость бетонной гравитационной плотины на сдвиг. В процессе строительства напорные воды приводят часто к выдавливанию в котлован мягких грунтов.

На примере Ингури ГЭС видно влияние гидротехнических сооружений на геологическую среду в альпийской горно-складчатой области со сложными сейсмотектоническими и инженерно-геологическими условиями. В комплекс этого уникального гидроузла входят: арочная плотина высотой 271,5 м, напорный туннель длиной 15 км, подземная ГЭС и отводящий канал с четырьмя перепадными ГЭС.

Наиболее ответственное сооружение — высотная арочная плотина возводится на нижнемеловой толще переслаивающихся известняков и доломитов, падающих в нижний бьеф под углом 60°.

В Ингуре ГЭС очень подробно изучалось напряженно-деформированное состояние основания с помощью комплекса долговременных геомеханических, геофизических, сейсмологических и геодезических исследований. По данным Р.Р. Тизделя, в основании плотины при глубине врезки около 30 м и разрыве во времени между началом разработки котлована и началом возведения плотины в 3—6 лет модули деформации в двухметровой приконтактной зоне уменьшились примерно в 4 раза против первоначального значения. После возведения плотины на высоту, равную 60% от проектной величины, модули деформации в приконтактной зоне левого берега вернулись к первоначальному значению, на правом берегу остались еще в 2 раза меньше, а в русловой части достигли 75% первоначальной величины.

С помощью долговременных геофизических наблюдений в основании плотины установлены непрерывные вариации скоростей продольных и поперечных волн, а также электросопротивлений. По данным А.И. Савича, эти глубинные изменения геофизических полей варьируют в различных частях массива в зависимости от масштаба исследований, затухая на глубинах 80—100 м до создания водохранилища и до 200—250 м после заполнения. В период укладки бетона до заполнения водохранилища скорости упругих волн и электросопротивление увеличились, а дно котлована опустилось. При каждом подъеме уровня водохранилища скорости и электросопротивление уменьшались, а поверхностные реперы поднимались, причем в крупных блоках сразу после начала подъема уровня, а в более мелких блоках с некоторым запозданием. Эти изменения геофизических параметров и совпадающие с ними поднятия реперов обусловлены, очевидно, фильтрационными деформациями массива с несколькими порядками дискретности. В 1986 г. при более быстрой сработке водохранилища зафиксировано дополнительное снижение скоростей, свидетельствующее о возможном увеличении разуплотнения массива. Все эти данные раскрывают механизм деформации скального массива и особенности взаимодействия его со строящимся сооружением под влиянием изменения его веса и фильтрационного взвешивающего противодавления для конкретных геологоструктурных условий.

На участке Ингуре ГЭС нетрудно проследить и многие другие воздействия основных сооружений на геологическую среду. Так, в основании плотины существенно изменилась гидрогеологическая обстановка, взрывные работы способствовали приповерхностному техногенному разуплотнению массива, образовав зону вторичного ослабления пород средней глубиной около 2 м и до 12 м на отдельных участках. Влияние взрывов и разгрузки учитывалось при определении крутизны откосов котлована и при назначении глубины врезки. Тем не менее при выемке котлована произошло пять значительных обрушений объемом от 300 до 3000 м³ и потребовалось укрепить отдельные участки анкерами, а также снять некоторые неустойчивые блоки.

На ряде гидроэлектростанций произошел эрозионный размыв берегов отводящего канала с разрушением бетонного лотка. Суммарный размыв в нижнем бьефе достигал около 100 м в глубь берегов и потребовал дополнительного крепления откосов канала.

Примером влияния строительства напорно-станционного узла на геологическую среду в платформенных условиях с широким развитием несkalьных грунтов может послужить построенный в настоящее время Чебоксарский гидроузел в среднем течении р. Волги, включающий земляную и водосливную бетонную плотины, здание ГЭС и судоходный шлюз. В геологическом строении участка гидроузла принимают участие четвертичные аллювиальные, озерно-болотные, золовые и другие отложения, перекрывающие пермские пестроцветные породы татарского яруса. Последние представлены глинами, песками, алевритами, известняками и мергелями общей мощностью 120—150 м.

Поскольку правобережный склон долины здесь относительно высокий (40—60 м) и крутой (до 40°), с многочисленными оползнями, то при выборе створа, помимо учета степени подтопления городов Горького и Чебоксары, а также ценных сельскохозяйственных угодий, большое внимание уделялось поиску неоползневого участка. Таким образом, выбор местоположения Чебоксарской ГЭС зависел целиком от прогнозной оценки его воздействия на геологическую среду. Однако полностью не удалось избежать древних оползней, опасных в отношении возможной активизации их под влиянием строительства. Так, в правобережном борту котлована шлюза был обнаружен древний оползень объемом около 40 тыс. м³, погребенный под аллювием ниже меженного уровня Волги. Часть оползня пришлось убрать, а оставшая часть была закреплена песчаной пригрузкой.

При вскрытии строительных котлованов отмечалось значительное изменение несущих свойств глинистых прослоев под влиянием размокания напорных вод и набухания при снятии нагрузки. Свободное набухание данных глин (монтмориллонит, гидрослюды, палыгорскит) в приборе Васильева при ненарушенной структуре не превышает 1—2%, а при искусственно нарушенной структуре составляет 30—40%. Фактическая величина набухания по наблюдениям за подъемом дна котлована достигла 4—6%. Неудовлетворительное водопонижение в процессе строительства котлована приводило к частому изменению напоров, быстро передававшихся по трещиноватым мергелям и известнякам, и к фильтрационному разрушению природной структуры глинистых грунтов. При этом плотность сухого грунта изменялась от 1740 до 1500 кг/м³, влажность — от 20,9 до 29,4%, коэффициент внутреннего трения — от 0,35 до 0,23 и сцепление — от 0,12 до 0,03 МПа. По данным исследований, чтобы избежать техногенного разуплотнения этих глин, промежуток времени между вскрытием основания и укладкой бетона должен быть не более 4 ч.

В ходе строительства было допущено промораживание отдельных участков основания бетонных сооружений, что способствовало дополнительному разуплотнению грунтов и ухудшению их свойств.

В целом под влиянием техногенной разгрузки произошел подъем дна котлована до 116 мм, который сменился осадкой под нагрузкой строящихся сооружений. Следует отметить также наличие в татарских отложениях супфозионно неустойчивых песков, которые в случае развития процесса супфозии под влиянием напорных вод угрожали устойчивости как откосов котлована, так и отдельных сооружений. Это было учтено в проекте при выборе местоположения шлюза и способа разработки строительных котлованов.

Особенности влияния гидротехнических сооружений на геологическую среду в условиях Крайнего Севера можно проиллюстрировать на примере строительства Вилуйской ГЭС-3. Изыскания на участке напорно-станционного узла показали, что в бортах долины развиты мощные блоковые оползни долеритов по кровле подстилающих карбонатно-глинистых пород; напорные подземные воды интенсивно минерализованы; район строительства характеризуется сложными мерзлотными условиями. Прогнозная оценка этих сложных инженерно-геологических условий позволяет предсказать здесь развитие таких неблагоприятных техногенных процессов, как активизация склоновых движений, ухудшение свойств пород в основаниях сооружений, усиление фильтрации и взвешивающего противодавления подземных вод и др.

Активизацию оползней на склонах долины и нарушение откосов выемок можно ожидать при возведении гидроузла в связи с подрезкой оползневых отложений и оттаиванием пород в котловане. Соответствующие защитные мероприятия должны быть уточнены на основе ведущихся в настоящее время исследований. Такие техногенные изменения пород в процессе проходки котлована, как промораживание и растепление, высушивание и увлажнение, а также выветривание грунтов, должны привести к ухудшению характеристик пород в основании бетонных сооружений. С учетом этих нежелательных процессов в проекте предусмотрено опережающее снижение напора подземных вод водопонизительными скважинами и дренажом в правом борту плотины, а также устройство защитного слоя в котловане в строительный период до производства бетонных работ. Можно предполагать и возникновение обходной фильтрации, особенно по широким трещинам бортового отпора, в случае растепления примыканий плотины. Для предупреждения такой фильтрации и для повышения устойчивости склона предусматривается устройство вдоль левого берега мерзлотно-цементационной завесы длиной 200—250 м, обеспечивающей сохранность примыкания плотины в многолетнемерзлом состоянии.

Изменение геологической среды при строительстве крупных водохранилищ. Основные воздействия водохранилищ на геологическую среду включают: подтопление прилегающей территории, переработку берегов, активизацию оползневых процессов, заливание водоемов, осадку земной поверхности, появление наведенной сейсмичности. На каждом объекте наблюдаются различные сочетания с различной интенсивностью тех или иных процессов в зависимости от конкретных геологических и техногенных условий. По инженерно-геоло-

гическим условиям обычно выделяют три существенно отличающихся типа водохранилищ (равнинные, горные и северные), требующих различной методики изучения взаимодействия водохранилища с природной средой.

Изменения гидрогеологических условий в связи с созданием водохранилищ и, в частности, формирование подпора подземных вод проявляются в подтоплении и заболачивании прилегающих грунтов, активизации просадочных явлений в лёссах, активизации оползневых и карстово-супфозионных процессов с образованием провальных воронок и др. Важные, но до сих пор плохо прогнозируемые процессы переформирования берегов характеризуются исключительной изменчивостью в пространстве и во времени под влиянием многочисленных факторов. Наиболее интересные за последние годы результаты были получены на северных водоемах, которые рассматриваются далее на примере Хантайского гидроузла.

После известной катастрофы на плотине Вайонт (Италия), вызванной обрушением огромного оползня в водохранилище, повысилось внимание к образованию крупных оползней на бортах горных водохранилищ, выходящих за рамки обычного переформирования берегов. Этот оползень был не единственным: так, сходный по масштабам оползень объемом около 3 млн м³ свалился в другое водохранилище и вызвал волну, которая перелилась через арочную плотину Понтезей (Италия). В бортах строящихся водохранилищ Зарамагской, Худони ГЭС и др. имеются крупные неустойчивые оползневые тела, активность которых возрастет в случае их подтопления. На участке такого оползня в водохранилище Зарамагской ГЭС предусмотрен обходной туннель, исключающий образование подпора в случае возникновения запруды оползшими массами. С опасной возможностью катастрофического обрушения крупного оползня связана проблема гигантского естественного водоема — Сарезского озера.

Созданные водохранилища подвергаются заилиению, вызывающему осветление вытекающей из него воды, что усиливает размыв как речных берегов в нижнем бьефе, так и морских берегов вблизи устья реки. Так, под влиянием строительства Ингурской арочной плотины с 1978 г. размыло морской берег протяженностью 20 км и шириной до 100 м. В настоящее время разработан проект укрепления этого участка побережья.

В связи с современной тенденцией увеличения глубины и объема водохранилищ становятся заметней прогибы земной поверхности под действием их нагрузки. При этом максимальные прогибы дна наблюдаются под плотиной и составляют 75—80 мм, а максимальные опускания бортов 15—20 мм. Выявлен сложный характер деформации земной поверхности под влиянием крупных водохранилищ. После наполнения водохранилища Братского гидроузла максимальная осадка поверхности составила 70 мм, что превысило прогноз, составленный по результатам изучения долеритов в основании сооружений. Рассхождение фактической и прогнозной оценок было вызвано недооценкой сжимаемости палеозойских осадочных пород, залегающих под

долеритами трапповой интрузии. На водохранилищах Зейской, Токтогульской, Ингурской и других ГЭС при их заполнении установлен некоторый подъем бортов и основания водохранилищ (до 15 мм), обусловленный гидростатическим и гидродинамическим воздействием подземных вод.

С созданием крупных горных водохранилищ часто связано повышение локальной сейсмичности, обусловленное ростом нагрузки и порового давления в основании водоема. На Нурекском водохранилище выявлена связь между изменением уровня воды и сейсмопроявлениями. Наведенная сейсмичность проявляется здесь вдоль водохранилища в полосе шириной до 15 км. Усиление сейсмической активности началось при глубине водохранилища 40 м и достигло максимума при 200 м напора. Активизация сейсмической активности отмечалась также при строительстве Чарвакской, Чиркейской и некоторых других ГЭС. Энергия наведенных землетрясений обычно небольшая, но сейсмический эффект связан с неглубоким залеганием их очагов. На проявление наведенной сейсмичности значительное влияние, по-видимому, оказывают изменения скорости наполнения и сработки водохранилищ. Не следует преувеличивать практического значения наведенной сейсмичности, поскольку ее интенсивность не может превысить фоновую.

Каскад Намахванских ГЭС на р. Риони проектировался первоначально как двухступенчатый: каменно-земляная плотина Жонети высотой 40 м и арочная плотина Намахвани высотой 160 м. В водохранилище Намахвани развиты, в основном, интенсивно дислоцированные вулканогенно-туфогенные и туфогенно-осадочные породы нижнего байоса и лишь на концевом участке байосские породы трансгрессивно перекрываются отложениями бата и кимериджа, а также верхнеловыми известняками Гонского массива. Предполагают, что этот массив образовался в процессе формирования р. Риони в результате смещения — отседания крупных меловых блоков пород, отчлененных друг от друга тектоническими разрывами дочетвертичного возраста. Поскольку этот массив подтапливался водохранилищем на 40 м, то его устойчивость, а также оползневые явления в делювии на прилегающих участках бортов долины являлись объектами детального изучения.

В результате был сделан вывод о том, что заполнение водохранилища с отметкой 360 м может привести к возобновлению подвижек передового блока Гонского массива, а также сильной активизации оползней в делювиально-пролювиальных отложениях в объемах, достаточных для перекрытия водохранилища на участке сел Твиши, Орхви и Корениши. В связи с этим было решено понизить нормальный подпорный уровень (НПУ) с 360 до 310 м, сохранив на участке естественные условия, а выше Гонского массива построить плотину Твиши высотой 40 м. В пределах водохранилища довольно широко развиты четвертичные элювиальные, пролювиальные и делювиальные отложения. Местами их мощность достигает нескольких десятков метров, имеются крупные оползневые очаги, которые выявлены при инженерно-геологическом картировании. При НПУ

310 м переработка берегов будет происходить, но эти процессы не затронут ценных земель и не будут опасны для эксплуатации водохранилища.

Специфической особенностью района Камских водохранилищ является широкое развитие легкорастворимых сульфатных пород: гипсов и ангидритов. Влияние этих водохранилищ на геологическую среду проявляется прежде всего в большой скорости растворения сульфатов как выше, так и ниже уреза воды. Особенно большая переработка берегов происходит в породах, состоящих более чем на 85% из чистого гипса. По данным И.А. Печеркина, здесь при высоте берега 20 м на 1 пог. м растворяется в год 90 т гипса. За 12 лет берега отступают на 20—25 м. Разрушение берега происходит в основном скачкообразно: сначала образуется ниша, затем обрушение, сменяемое растворением обрушенного материала, и т.д. При этом процессе не образуются отмели, так как нерастворимый остаток уносится во взвешенном состоянии с водой и переформирование берега не ослабевает со временем. При содержании сульфатов менее 85% обычно образуется отмель и разрушение берега постепенно затухает. Опасность выщелачивания гипсов повлияла на выбор створа и размещение бетонных сооружений Нижнекамской ГЭС. Для строительства этого гидроузла был выбран участок долины, где сакмарские гипсонасные отложения залегают на глубинах более 100 м.

Самое северное в СССР Хантайское водохранилище объемом 12,8 км³ эксплуатируется с 1970 г. Оно расположено в северо-западной части Сибирской платформы на участке развития палеозойских карбонатных пород, прорванных триасовыми трапповыми интрузиями и перекрываемых четвертичными ледниками, озерно-аллювиальными и озерно-болотными отложениями. Субарктический климат со среднегодовой температурой -9°C и минимальной температурой -63°C обусловливает прерывистое распространение многолетнемерзлых пород мощностью 15—80 м. Ввиду отсутствия на участке населенных пунктов и месторождений полезных ископаемых берега водохранилища оказались слабоизученными в процессе проектирования. Обследование береговой зоны, стационарные наблюдения на опорных участках, замеры температуры воды, проведенные МИСИ через 6 лет эксплуатации водохранилища, выявили высокую интенсивность термоабразионных процессов в зоне сработки водохранилища и в дне его ниже зоны сработки. Термоабразия вызывает существенные переформирование и оседания чаши и бортов водохранилища, что ведет к значительному увеличению его площади и объема.

Термоабразионные процессы развиваются в четвертичных отложениях и приводят к формированию отдельных участков и зон оседания геоморфологических поверхностей, образованию термоабразионных уступов высотой до 5 м с характерными нишами в результате оттаивания мерзлых пород и дальнейшего их углубления в процессе ветро-волнового воздействия, обвалов многочисленных блоков мерзлых пород, термокарстовых воронок диаметром 3—4 м и глубиной более 2 м и др. Приращение емкости Хантайского во-

дохранилища за 8 лет эксплуатации, рассчитанное по суммарной льдистости пород зоны затопления, составляет 3,4—3,6 км³; примерно 23—24% его полезного объема. Эксплуатация водохранилища в зимний период 1979 г. свидетельствует о превышении расходов воды из верхнего бьефа на 2,6 км³ по сравнению с проектной кривой связи уровня и объема. Это подтверждает предположение об увеличении емкости водохранилища за счет отепляющего воздействия воды в нем, имеющей положительную температуру круглый год.

Изменения геологической среды при строительстве ГАЭС. В последние годы быстро развивается строительство сравнительно нового вида гидroteхнических сооружений — гидроаккумулирующих электростанций. Построена Киевская ГАЭС, строятся Загорская, Кайшадорская, Каневская, Днестровская ГАЭС, проектируются Ленинградская и др. В их состав входит верхний бассейн объемом до 150 млн м³ с дамбами высотой до 70 м, водоприемник, напорный трубопровод, соединяющий верхний бассейн с открытым зданием ГАЭС у подножья склона, и нижний водоем. При этом глубокий котлован здания ГАЭС обычно подрезает склон. Строящиеся в настоящее время ГАЭС приурочены в основном к аномальным участкам платформенных областей, характеризующихся значительным распространением рыхлых и слабых грунтов и крутыми склонами высотой не менее 100 м.

К важнейшим воздействиям ГАЭС на геологическую среду в этих довольно сложных платформенных условиях относится прежде всего снижение устойчивости склонов и, в частности, основания трубопровода. Из-за наличия слабых, в общем, пород, круtyх склонов с выходами подземных вод, древних оползней массив находится в состоянии предельного равновесия и малейшие техногенные воздействия вызывают здесь гравитационные процессы. К таким воздействиям можно отнести подрезку склона снизу, пригрузку его сверху, техногенные разгрузку и выветривание в строительном котловане, влияние подземных вод, фильтрующих из верхнего бассейна, и др. Активизации склоновых процессов способствуют также такие распространенные нарушения технологии строительства, как несоблюдение оптимальной последовательности и длительности строительных работ, плохая работа запроектированных глубинного водопонижения и дренажа, отсутствие отвода поверхностных вод от попадания на потенциально неустойчивые участки склона и особенно в трещины закола.

В связи с трудностями обеспечения надежной водонепроницаемости dna верхнего бассейна серьезными проблемами могут стать потери воды из него и подтопление окружающей территории и, в частности, склона. При этом гидрогеологические условия и гидродинамическая схема фильтрационного потока являются специфическими в каждом конкретном массиве. С фильтрацией воды из бассейна, а также с воздействием напорных вод при выемке котлована могут быть связаны выпор его dna, разжижение или суффозионное разрушение слабых пород, вынос заполнителя трещин и карстовых полостей. Наконец, выемка строительного котлована часто сопровождается образованием зоны техногенной разгрузки и техногенного выветри-

вания с соответствующим ухудшением показателей геотехнических свойств грунтов.

Участок строящейся Загорской ГАЭС приурочен к северо-западному склону Клинско-Дмитровской конечно-моренной гряды, где долина р. Куны наследует древний эрозионный врез глубиной более 100 м, выполненный песчаными аллювиально-водноледниковыми осадками. Коренные породы представлены нижнемеловой песчано-глинистой толщой, перекрытой суглинистыми ледниковыми образованиями московской морены с отдельными песчаными линзами. С поверхности залегает чехол покровно-делювиальных отложений в сочетании с оползневыми накоплениями. В процессе изысканий на этом участке выявлены сложные инженерно-геологические условия: присутствие в подошве морены высокодисперсных ("зеленых") глин с низкими показателями сопротивления сдвигу и склонностью к ползучести; наличие нескольких горизонтов напорных подземных вод; широкое распространение погребенных оползней в склонах переуглубленной древней долины р. Куны.

Сложные природные условия и отступления от проекта во время строительства, выразившиеся в подрезке склона снизу, его пригрузке сверху и увлажнении, отсутствии запланированного водопонижения в котловане, привели к образованию нескольких оползней. Наибольший из них — южный оползень — возник в 1979 г. в непосредственной близости к напорному трубопроводу и дамбам верхнего бассейна. Моренные суглинки движутся здесь по древней поверхности скольжения, приуроченной к кровле "зеленых" глин, залегающих на глубине до 30 м. Необходимо подчеркнуть, что эти движения начались, несмотря на проведение запроектированных противооползневых мероприятий, которые оказались неэффективными из-за таких нарушений проекта, как задержка со строительством упорной призмы, разработка слишком широкого котлована для него, неполная зачистка зеленых глин и отсыпка некачественного фильтра. Движение это захватило около 700 тыс. м³ [2] и еще не остановлено.

Инженерно-геологическими изысканиями на участке Ленинградской ГАЭС выявлены сходные природные условия. Так, в основании верхнего бассейна и в склоне долины р. Шапши, по которому прокладывается напорный трубопровод, залегают моренные суглинки с прослойями обводненных песков. Морена на высоте 30—35 м над урезом воды в р. Шапше подстилается толщей девонских тонкослоистых глин и песков, содержащих напорные воды. Следует предположить, что основное влияние будущего строительства на данную геологическую среду проявится в снижении устойчивости склонов долины и откосов строительных котлованов. Неблагоприятными факторами в этом случае являются прослои мягких глин с низким сопротивлением сдвигу, наличие напорных вод и дополнительное обводнение склона от верхнего бассейна. Все это требует надежных противооползневых мероприятий и качественного выполнения их.

Наличие многочисленных оползней в бортах нижнего водохранилища, в том числе активного оползня в правом примыкании плотины, чему способствует разгрузка на склонах подземных вод, до-

полнительное обводнение склонов в эксплуатационный период от нижнего и верхнего бассейнов обусловит неизбежную активизацию склоновых процессов и переформирование берегов нижнего водоема. При вскрытии строительного котлована здания ГАЭС можно ожидать техногенное разуплотнение девонских пород (с соответствующим изменением расчетных характеристик грунтов), супфозионный вынос песков в выемки и техногенное разжижение песков и алевритов, что требует учета в проектных решениях и особенно в технологии выполнения строительных работ.

Сложными и своеобразными инженерно-геологическими условиями характеризуется строительная площадка Каневской ГАЭС, расположенная в районе интенсивных четвертичных дислокаций не вполне ясного происхождения. Коренные породы в основании верхнего бассейна и по трассе напорного трубопровода представлены песчано-глинистыми отложениями, обладающими сильной пространственной изменчивостью литологического состава, водопроницаемости и прочностных свойств. Так называемые каневские дислокации представлены сравнительно узкой зоной чешуйчатых глинистых диапиров, вытянутой вдоль берега р. Днепра и содержащей, таким образом, многочисленные ослабленные поверхности, падающие в сторону долины. На бортах оврагов при выходе на дневную поверхность диапировых тел, сложенных высокодисперсными монтмориллонитовыми глинами, развиты оползни.

Наибольшее ожидаемое влияние проектируемой ГАЭС на геологическую среду — снижение устойчивости склонов и откосов котлованов в строительный период и в условиях эксплуатации с учетом воздействия строительных работ и дополнительного увлажнения от верхнего бассейна. В целях обеспечения устойчивости основания трубопровода, бортов котлована здания ГАЭС в проекте исключена подрезка и пригрузка склона, а также приняты бескотлованный способ возведения здания ГАЭС с помощью опускных колодцев, дренирование склона и экранирование чаши верхнего бассейна. Строительство сооружений верхнего бассейна осложнено распространением лессов значительной мощности, требующих тщательного уплотнения, а также залеганием в основании 70-метровой плотины верхнего водоема мощного слоя неконсолидированных глинистых грунтов ледникового происхождения, которые при обводнении способны переходить в текучее состояние.

Днестровская ГАЭС также строится в сложных инженерно-геологических условиях с глубоким залеганием докембрийских пород нижнего структурного этажа, перекрытых маломощными отложениями верхнего платформенного чехла. В дне верхнего бассейна и на склоне долины р. Днестр распространены протерозойские сильно трещиноватые полускальные аргиллиты с многочисленными прослойями глин, подверженные быстрому разуплотнению и выветриванию на склонах и в откосах. Толща аргиллитов рассечена тектоническими трещинами, часть которых падает в сторону долины; на склонах развиты обвалы и оползни; в известняках, слагающих ложе верхнего водоема, обнаружены супфозионно-карстовые явления. Сейсмичность с учетом местных грун-

товых условий составляет 8 баллов. В этих условиях следует ожидать значительного влияния строительства ГАЭС на устойчивость склонов долины и откосов котлованов. Поэтому в проекте принято размещение основных агрегатов ГАЭС в отдельных шахтах диаметром 27 м, расположенных на расстоянии 54 м друг от друга, что исключает строительство большого котлована и подрезку склона.

Отсутствие естественного водоудерживающего слоя в дне верхнего бассейна вызовет значительные фильтрационные потери воды, что увеличит в три раза обводнение склона и снизит его устойчивость. Принятые проектные решения предусматривают устройство в верхнем бассейне сплошного противофильтрационного экрана из слоя суглинков мощностью 2 м, а также дренажа склона. Ожидается также подтопление и переработка берегов нижнего водоема в связи с большими колебаниями уровня воды в нем. В проекте предусмотрена отсыпка в основании подмываемого берега защитного банкета длиной 1,5 км, строительство защитных сооружений у двух сел, закрепление активных оврагов и др.

Выводы

1. Процессы влияния гидротехнического строительства на геологическую среду — очень сложные, многообразные и многофакторные. Они существенно зависят как от конкретных инженерно-геологических условий, так и от размеров и особенностей возводимых сооружений. На эти процессы очень влияют способы и качество выполнения строительных работ, что особенно трудно прогнозировать. Воздействие техногенных факторов и развитие процессов взаимодействия изменяются во время строительства и в общем случае можно выделить три стадии: выемку котлована, возведение сооружения и его эксплуатацию. Все это затрудняет изучение взаимодействия гидротехнических сооружений с геологической средой.

2. Для современного положения в проектировании и строительстве характерно в целом недостаточное внимание к вопросам взаимодействия гидротехнических сооружений с геологической средой. Методика изучения этого взаимодействия и его прогнозирования недостаточно разработана, в результате чего прогнозы техногенных изменений нередко расходятся с фактическими данными. Этому способствуют и такие организационные недостатки, как малый объем и плохое качество натурных наблюдений, случаи проведения строительных работ без учета инженерно-геологических рекомендаций, "бесхозность" водохранилищ и др. Очевидно, что крупное гидроэнергетическое строительство не может развиваться дальше без коренного изменения отношения к этой проблеме со стороны изыскателей, проектировщиков и строителей.

3. Для совершенствования изучения характера и степени влияния гидротехнических сооружений на геологическую среду необходимо разработать комплексную методику прогнозной оценки самых разных аспектов такого взаимодействия, основанную прежде всего на анализе и обобщении огромного опыта гидротехнического строительства

в различных природных условиях и с учетом последних достижений инженерной геологии, гидрогеологии, гидрологии, проектирования и механики скальных пород. Необходимо улучшить натурные наблюдения как во время строительства, так и при эксплуатации сооружений. Большие перспективы связаны с разработкой и внедрением методов так называемого гибкого (или активного) проектирования, направленного на последовательную детализацию и оперативное корректирование проектных решений в зависимости от результатов натурных наблюдений во время строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каган А.А., Количко А.В. Динамика развития оползня скальных пород на участке строительства Ташкумырской ГЭС // Тез. докл. и сообщ. IX конф. изыскателей Ин-та "Гидропроект". М., 1987. С. 213—214.
2. Молоков Л.А. Инженерно-геологические процессы. М.: Недра, 1985. 212 с.

УДК 556.38: 624.131.1

Л.Г. Балаев, Д.М. Кац, С.Ш. Мирзаев

Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при мелиоративном строительстве и освоении земель

Выполнение Продовольственной программы в нашей стране имеет в настоящее время не только чисто экономическое, но и большое социально-политическое значение. Мелиорации земель предстоит играть роль одного из основных факторов интенсификации сельскохозяйственного производства.

При инженерно-геологических исследованиях для обоснования мелиоративного строительства получают развитие все основные направления инженерной геологии: грунтоведение, инженерная геодинамика, региональная инженерная геология, причем в каждом из этих направлений должна найти отражение специфика воздействий мелиоративных сооружений на геологическую среду.

Важнейшей особенностью гидромелиорации является вовлечение в сферу инженерной деятельности человека больших территорий, нередко охватывающих площадь геологических регионов. При этом воздействие инженерных мероприятий на природную обстановку оказывается настолько существенным, что приходится рассматривать уже не только существенную, исторически сложившуюся геологическую обстановку и природный ландшафт. Приходится изучать и прогнозировать условия возникновения и развития новых природных систем и искусственных ландшафтов.

Существенной особенностью гидромелиоративного строительства является тесная взаимосвязь инженерно-геологических, гидрогеологи-

ческих и почвенно-мелиоративных условий, обычно при ведущей роли гидрогеологических условий. Мелиоративные сооружения — это водораспределительные и водопроводящие сооружения, с обязательным и обильным увлажнением всей толщи пород зоны аэрации под ними. Здесь неизбежны избирательный характер и повышенная интенсивность неблагоприятных инженерно-геологических процессов, связанных с деятельностью подземных и поверхностных вод: фильтрационное выщелачивание и суффозия, различные русловые процессы и абразия берегов, просадки лёссовых отложений, набухание и усадка глинистых пород, активизация оползней, развитие процессов дефляции, водной эрозии и др. Строительство крупных водохранилищ в горно-складчатых областях с повышенной сейсмичностью может вызвать активизацию землетрясений и крупные обвалы.

Отличительной особенностью мелиоративного строительства является необходимость тесной увязки всего комплекса сооружений, каналов и орошаемых земель, как в плане, так и по высотным отметкам, для обеспечения на всех участках оросительной системы превышения уровня воды в водопроводящих магистралях над орошамыми полями. Это исключает возможность выбора для наиболее ответственных сооружений строительных площадок с лучшими геологическими условиями. Местоположение сооружения определяется общей схемой расположения мелиоративной системы и часто в чрезвычайно сложных по геологическому строению и по гидрогеологическим условиям районах.

Влияние гидротехнических мелиораций на природную среду охватывает приземную часть атмосферы, биосферу, гидросферу и литосферу, но в комплексе оно пока еще остается нерасшифрованным. Обобщение имеющегося производственного опыта, а также разрозненных сведений об изменениях геологической среды, связанных с гидромелиоративным строительством, позволяет выделить три основных группы таких изменений:

1. Изменения, связанные с регулированием и перераспределением речного стока для целей гидромелиораций. В эту группу могут быть включены такие факторы, как изменение геостатического равновесия отдельных массивов земной коры, осушение естественных водоемов, затопление и подтопление территорий при создании водохранилищ и переработка их берегов, аккумуляция ирригационных осадков, изменение гидростатического напора в водосодержащей среде, развитие явлений подпора и т.д.

Из перечисленных изменений геологической среды в практике водохозяйственного строительства в какой-то мере учитываются и прогнозируются процессы переработки берегов водохранилищ, фильтрации, подпора грунтовых вод и подтопления прилегающих территорий, определяются границы зон затопления. Аккумуляция твердого стока в чахе водохранилищ изучается только с позиций их заилиения (уменьшение ёмкости водохранилищ).

В связи с созданием крупных высоконапорных водохранилищ особую опасность представляет изменение геостатического равновесия, вызывающее сейсмические явления. В самом деле, создание

водохранилищ с высоконапорными плотинами приводит к сосредоточению на сравнительно небольшой площади огромной вертикальной нагрузки, состоящей из веса воды в водохранилище (обычно изменяется во времени в течение года), плотины и наращаиваемого из года в год объема твердого стока. Величина этой нагрузки на земную кору для крупных водохранилищ исчисляется миллиардами тонн. Появление такой сосредоточенной нагрузки на отдельных блоках геологических структур может привести к их сдвигам относительно друг друга. По-видимому, немаловажна роль этого фактора в участившихся за последнее двадцатилетие сейсмических явлениях в зоне таких крупных водохранилищ, как Чарвакское, Нуракское, Кайраккумское и др. К сожалению, комплексному изучению этого явления в практике водохозяйственного строительства пока еще уделяется недостаточное внимание.

2. Изменения геологической среды, связанные с ведением самого орошаемого земледелия: изменение водно-солевого баланса зоны аэрации, режима и запасов подземных вод под полями орошения, подтопление (ухудшение мелиоративного состояния) территорий, заболачивание и вторичное засоление почв. Все эти вопросы более или менее детально изучены. Им посвящены работы многих советских и зарубежных гидрогеологов, гидротехников, мелиораторов, почвоведов, научных коллективов министерств геологии, мелиорации и водного хозяйства и других ведомств. Однако приходится с сожалением отметить, что эти исследования в основном базируются на констатации фактов при явно недостаточной разработке научных основ прогнозирования и целенаправленного управления этими процессами.

В прямой зависимости от создания научных основ прогнозирования и управления изменениями геологической среды при ведении орошаемого земледелия находится решение важнейшей проблемы повышения эффективности использования мелиорированных земель. Кроме того, с этими же вопросами связано правильное решение проблемы рационального использования и охраны окружающей среды и располагаемых водных ресурсов, которые стали лимитирующим фактором дальнейшего развития орошаемого земледелия. Проблема повышения водообеспеченности орошаемых земель приобрела особую остроту в связи с прекращением работ по переброске части стока северных и сибирских рек в южные районы страны.

3. В геологической среде имеют место изменения, косвенно связанные с гидромелиорацией (сопутствующие ей). К их числу относятся такие геологические процессы и явления, как денудация, эрозия, осадки грунтов под сооружениями, просадки в замачиваемых лёссовидных грунтах, изменения физико-механических свойств грунтов в результате растворения и выщелачивания солей, процессы набухания или усадки, образование суффозионного карста и т.д. Эти явления и процессы хотя и являются хорошо известными, но практическое внимание им уделяют лишь при решении частных практических задач, в региональном же плане они остаются недостаточно изученными. Значение их в орошаемом земледелии очень существенно, особенно при эксплуатации гидромелиоративных систем. В частности, они явля-

ются основной причиной недостоверности многих проектных решений гидромелиоративных систем. Это, в свою очередь, приводит к нерациональному использованию земельных и водных ресурсов и в конечном счете к снижению урожаев сельхозкультур.

Задачи инженерной геологии в области научных исследований для целей мелиорации. Основными и необходимыми предпосылками дальнейшего развития научно-технического прогресса в инженерной геологии являются:

историко-генетический подход к решению задач на разных уровнях исследований, от региональных до микроисследований состава и строения грунтов. Такой подход, учитывающий условия формирования объекта и последующую историю его геологического развития,ложен основоположниками грунтоведения и инженерной геологии М.М. Филатовым, В.А. Приклонским, И.В. Поповым, Е.М. Сергеевым и др.;

рассмотрение любого изучаемого объекта как сложной многокомпонентной и многофакторной системы, отдельные элементы которой взаимосвязаны и взаимообусловлены. Системный подход позволяет на ранних стадиях исследований выделить главные элементы и связи системы и сосредоточить основное внимание на их изучении;

комплексность исследований, т.е. необходимость проведения исследований на макро-, мезо- и микроуровнях с применением разнообразных взаимодополняющих друг друга методов (дистанционных полевых, лабораторных, аналитических и др.), позволяющих более разносторонне и глубоко охарактеризовать объект исследований.

При изучении вопросов инженерной геологии первостепенное значение имеет проблема исследований структуры, состава и состояния грунтов, осуществляемых методами грунтоведения. Трудами В.В. Охотина, М.М. Филатова, Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова, К. Терцаги, Д. Тейлора, А. Скемптона и других ученых решены многие теоретические и практические вопросы формирования состава, структуры и свойств грунтов. Это позволило разработать методы прогноза их поведения при взаимодействии с сооружениями, организации изысканий и исследований и т.д. Однако условия мелиоративного строительства существенно отличаются, обладают особой спецификой по сравнению с промышленными, гражданскими и другими видами строительных объектов. Это не позволяет переносить в мелиорацию без существенных коррективов те способы и методики инженерно-геологических исследований, которые уже достаточно разработаны для этих видов строительства.

Принципиально важным вопросом для условий мелиоративного строительства является исследование массивов грунтов в естественном залегании. Результаты этих исследований, как известно, зачастую существенно отличаются от прогнозных показателей, определенных на образцах в лабораторных условиях. В связи с этим необходимо разрабатывать новые и совершенствовать известные методы испытаний грунтов; получать качественные и количественные параметры, учитывающие неоднородность пород, их состояние (выветренность, трещиноватость и т.д.), воздействие техногенных и других факто-

ров, совершенствовать и шире внедрять корреляционные геофизические, полевые геотехнические и другие методы.

Далее следует остановиться на некоторых вопросах инженерной геодинамики. При мелиорации земель имеют широкое развитие более двадцати различных геологических процессов, значительно усложняющих строительство и эксплуатацию мелиоративных систем. Эти процессы имеют различные площадное развитие и интенсивность проявления.

Необходимо отметить пока еще недостаточную научно-методическую и нормативную обеспеченность прогнозирования процессов как для решения локальных, так и региональных задач. Например, если на сравнительно высоком уровне находится методика изучения и прогноза просадочных, оползневых и эрозионных процессов, то совершенно недостаточно разработаны методы прогноза карста, супфозии и многих других процессов. При этом даже при хорошей изученности процессов прогнозы, как правило, являются качественными или полукачественными и касаются главным образом развития процессов в пространстве. Хуже обстоит дело с прогнозированием во времени. Между тем, для рационального использования геологической среды необходимо научиться прогнозировать геологические процессы в пространстве, во времени и по их интенсивности.

Роль техногенных (антропогенных) процессов в геодинамической обстановке постоянно и весьма быстро возрастает. Всем хорошо известны негативные примеры вмешательства человека в окружающую среду. В связи с этим важное значение приобретают анализ и учет опыта строительства в тех или иных районах, а также сочетание натурных наблюдений с разными видами моделирования: физического, аналогового, численного.

Прогнозные исследования в региональном масштабе основываются, как правило, на стохастических (вероятностных) моделях среды с использованием отдельных положений теории подобия и различных математических методов. Локальные же прогнозы опираются на детерминированные модели и сравнительно точные количественные оценки и методы расчетов (устойчивость склонов, осадки сооружений и др.). Данное направление исследований является безусловно важным, а разработка методик прогнозирования инженерно-геологических процессов и исследований для обоснования прогнозов является актуальной задачей современной инженерной геологии.

При обосновании проектов мелиоративного строительства и прогнозировании процессов весьма эффективными показали себя постоянно действующие математические модели (ПДММ), которые функционируют в течение длительного периода времени и используются не только для многовариантных прогнозных исследований, но и для более целенаправленного проведения изысканий на всех стадиях проектирования и эксплуатации мелиоративных объектов. Необходимо дальнейшее совершенствование методики создания и использования ПДММ.

Очень полезным для более глубокого изучения особенностей развития процессов является организация постоянно действующих научных стационаров на участке развития процессов, типичных для

тех или иных регионов. Большие перспективы связаны также с разработкой и внедрением дистанционных методов исследований, которые представляют собой комплекс съемок, осуществляемых с различных летательных аппаратов, регистрирующих состояние поверхности Земли и отдельных параметров природной среды с помощью разнообразной аппаратуры многозонального фотографирования, инфракрасной, радиолокационной и телевизионной съемки, СВЧ-радиометрии и др.

Необходимость изучения и анализа инженерно-геологических условий крупных регионов для целей планирования и проектирования мелиоративного строительства требует использования методов региональной инженерной геологии, основы которых разработаны И.В. Поповым, Е.М. Сергеевым, Н.Н. Николаевым, Г.А. Голодковской, В.Т. Трофимовым, Г.К. Бондариком и др.

В настоящее время в методике инженерно-геологического районирования для целей мелиорации за основу взята однорядная последовательная схема генетико-морфологического районирования, которая широко используется в практической работе и позволяет проводить со-поставление и согласование со схемами гидрогеологического и почвенно-мелиоративного районирования. Большое внимание уделяется типизации природных условий с целью разработки нормативных документов по инженерно-геологическому обоснованию мелиоративного строительства.

Важное место в региональных исследованиях должен занять оценочный подход, связанный с совершенствованием и внедрением способов сравнительно-оценочного районирования по степени сложности природных условий для мелиоративного строительства и разработкой методологических основ геолого-экономического районирования. Последний вид региональных исследований позволит перейти непосредственно к объективной экономической (стоимостной) оценке эффективности мелиоративных мероприятий. В качестве основных вопросов здесь предусматривается разработка системы учета критериев и методики стоимостной оценки земель, сложности природных условий, а также ущерба от неблагоприятных процессов и явлений; составление нормативных документов по защите земель, систем и сооружений; совершенствование методов пространственного и временного прогнозов изменений природных условий. В этом плане большой интерес представляют карты изменения геологической среды в связи с мелиоративным и гидротехническим строительством, разработанные в МГУ под руководством Е.М. Сергеева для территории Нечерноземной зоны РСФСР (МГУ, 1984).

Гидрогеологические исследования для целей мелиорации. Значение гидрогеологических исследований для мелиорации определяется существованием прямых и обратных связей между гидрогеологическими условиями, с одной стороны, и орошением и осушением земель — с другой. Гидрогеологические условия определяют принципиальную схему и методы мелиорации земель и в то же время сами эти условия резко изменяются после проведения мелиораций.

Влияние орошения на гидрогеологические условия в аспекте тех

задач, которые должны быть решены при изысканиях и исследованиях, заключается в следующем:

возникает дополнительное питание грунтовых вод за счет потерь на фильтрацию из каналов и на полях при поливах. В пустынных и полу-пустынных орошаемых районах это питание грунтовых вод может значительно превышать природное питание грунтовых вод;

с оросительной водой в грунтовые воды поступают значительные массы солей, возрастающие при растворении солей, содержащихся в зоне аэрации, фильтрующимися водами;

при подъеме грунтовых вод в районах низкой естественной дренированности до глубины менее 3—4 м резко возрастает их расход в зону аэрации на испарение и транспирацию, что при недостаточности естественного и искусственного дренажа приводит к засолению почв и соленакоплению в грунтовых водах;

искусственный дренаж усиливает отток грунтовых вод, снижает их уровень, а в определенных условиях и пьезометрический уровень напорных вод, а в комплексе с орошением уменьшает минерализацию грунтовых вод, рассоляет засоленные почвы;

использование подземных вод для орошения снижает уровни подземных вод;

орошение, дренаж, использование подземных вод могут изменить фильтрационные свойства горных пород, вызвать неблагоприятные инженерно-геологические процессы, осложняющие мелиорацию земель.

Влияние осушения земель на гидрогеологические процессы в гумидной зоне проявляется в следующих направлениях:

увеличивается глубина залегания грунтовых вод и величина их инфильтрационного питания атмосферными осадками;

возрастает скорость спада уровня грунтовых вод после выпадения осадков и прохождения паводков, изменяется характер сезонных колебаний уровня грунтовых вод, увеличивается их амплитуда;

изменяется химический состав грунтовых вод, имеющих различный характер в разных гидрогоеохимических условиях;

изменяются фильтрационные и другие свойства торфяников после снижения уровня грунтовых вод, вызванного осушением.

Орошение и осушение земель вызывают столь глубокие изменения гидрогеологических условий и в целом геологической среды мелиорируемых земель, что под влиянием этих изменений создаются своеобразные техногенные режимы подземных вод, нередко весьма отличающиеся от тех природных режимов, из которых они сформировались. Большую роль при этом играют масштаб мелиорации и ее технический уровень. В связи с этим предупреждение негативных последствий мелиорации требует детального гидрогеологического, инженерно-геологического и почвенно-мелиоративного обоснования и соответствующих прогнозов, результаты которых необходимо учесть в проектах мелиорации и при эксплуатации гидромелиоративных систем.

Задачи изысканий для целей мелиорации. Объем и состав изысканий и исследований определяются характером проектируемой мелиорации, стадией проектирования и зависят от особенностей природных условий объекта мелиорации.

По "Инструкции о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений СН 202—81" (М.: Госстрой, 1981), разработанной в соответствии с постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 30.03.1981 г. N 312 "О мерах по дальнейшему улучшению проектно-сметного дела", и последующим разработкам Минводхоза СССР к предпроектным проработкам относятся:

схемы комплексного использования земельных и водных ресурсов бассейнов или других территорий;

технико-экономические обоснования (ТЭО) и технико-экономические расчеты (ТЭР).

К стадиям проектирования относятся:

проект;

рабочая документация;

рабочий проект.

Схемы составляют по бассейнам рек. В них рассматривается технический замысел комплексного использования земельных и водных ресурсов. Характеристика гидрологических и инженерно-геологических условий объекта мелиорации выполняется на основе анализа имеющихся материалов, изучения объектов-аналогов, проведения рекогносцировок.

В 1983 г. "Союзводпроектом" Минводхоза СССР завершена разработка отраслевой схемы развития мелиорации и водного хозяйства СССР на период до 2000 г., которая будет корректироваться один раз в 5 лет. На ее основе будут разрабатываться схемы комплексного использования земельных и водных ресурсов отдельных регионов страны.

Технико-экономические обоснования и технико-экономические расчеты. Их целью является обоснование хозяйственной необходимости и экономической целесообразности орошения и осушения земель с возведением необходимого комплекса гидротехнических сооружений. В основу положены специальные "Указания" Союзводпроекта Минводхоза СССР¹. В соответствии с ними ТЭО разрабатываются:

по особо крупным и сложным мелиоративным системам и сооружениям при расчетной стоимости строительства 250 млн руб. и выше;

по крупным и сложным объектам при расчетной стоимости строительства от 50 до 250 млн руб.;

по более простым объектам при расчетной стоимости строительства от 10 до 50 млн руб.

По решению Госплана СССР и Госстроя СССР, разработка ТЭО может выполняться и для объектов при расчетной стоимости строительства менее 10 млн руб.

Технико-экономические расчеты выполняют по объектам с несложными природно-хозяйственными условиями при расчетной стоимости

¹ Указания о порядке разработки и утверждения технико-экономических обоснований и технико-экономических расчетов, обосновывающих хозяйственную необходимость и экономическую целесообразность строительства мелиоративных систем и сооружений. М.: Союзводпроект, 1985. 45 с.

строительства до 50 млн руб., строительство которых намечается осуществить, как правило, в одну очередь.

Разработка ТЭО и ТЭР должна осуществляться на основе схемы развития и размещения мелиорации и водного хозяйства СССР, схемы развития и размещения производительных сил по экономическим районам и союзным республикам, схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР и схемы развития и размещения материально-технической базы Минводхоза СССР.

Одним из важнейших разделов ТЭО и ТЭР являются характеристика и оценка природных условий, в которых освещаются:

характеристика рельефа территории объекта;

климатическая характеристика района расположения объекта;

гидрологическая характеристика источника орошения, водоприемника дренажных и сбросных вод;

гидрогеологические и инженерно-геологические условия строительства на территории объекта;

почвенно-мелиоративные условия;

оценка природных условий объекта и прогноз их изменения в связи с намечаемым мелиоративным строительством;

обеспеченность местными строительными материалами;

природные комплексы и исторические памятники.

Важным разделом ТЭО и ТЭР является охрана окружающей среды.

При разработке ТЭО и ТЭР используют фондовые материалы и результаты дополнительных инженерных изысканий.

Для мелиоративных систем, находящихся в сложных природно-хозяйственных условиях, в ТЭО или ТЭР при необходимости следует обосновывать опережающее строительство и ввод в действие экспериментальных участков и сооружений, предусматривать средства на строительство и проведение исследований.

В приложениях к разделу "Природные условия" приводится комплекс соответствующих карт масштаба 1:200 000 (или 1:50 000).

В ТЭО и ТЭР в соответствии с "Указаниями" освещаются инженерно-геологические условия магистральных каналов и коллекторов с комплексом гидротехнических сооружений, плотинные головные водозaborы, водохранилища, площадки створов плотин, дамбы обвалования и др. Характеристика выполняется на основе изучения и анализа фондовых материалов комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических съемок масштаба 1:50 000 и 1:200 000, а также фондовых материалов геологических изысканий, проведенных другими организациями. Дополнительно с учетом ранее проведенных изысканий проводят комплекс горно-буровых, геофизических, опытно-фильтрационных и других работ, а также послойное определение классификационных показателей и физико-механических свойств пород, в частности их прочности и сжимаемости, каждой литолого-генетической разности. Состав и объем дополнительных инженерно-геологических исследований и изысканий дифференцируется для различных сооружений с учетом особенностей геоморфологических условий, геологического строения, гидрогеологических условий, а также предшествующей изученности инженерно-геологических условий.

При орошении подземными водами и использовании последних для сельхозводоснабжения эксплуатационные запасы подземных вод характеризуют в ТЭО и ТЭР на основе фондовых материалов комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических съемок Мингео СССР в масштабе 1:200000 и 1:50000, карты гидрогеологического районирования территории СССР по условиям сельхозводоснабжения подземными водами (масштабы от 1:500000 до 1:1500000), карты месторождений подземных вод, рекомендуемых для орошения, масштаба 1:1000000. Фондовые материалы Мингео СССР с утвержденными запасами в ГКЗ СССР и ТКЗ по категориям А, В, С₁.

При обосновании проектов гидромелиоративных систем гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания должны обосновать принятый в процессе предпроектных проработок вариант компоновки сооружений гидромелиоративной системы, их конструктивных решений и проектируемых мелиоративных мероприятий.

Состав и объем изысканий и исследований для проектов новых, расширения и реконструкции действующих мелиоративных систем и водохозяйственных объектов регламентируется ведомственными строительными нормами ВСН-33-2.1-05—85¹.

В соответствии с этими нормами рекомендуется по материалам ранее проведенных изысканий и съемок создание математической или аналоговой модели изучаемой территории. Модель совершенствуется в течение всего периода изысканий и строительства объекта. Исследования математической модели должны проводиться на основе специального банка данных.

Для обоснования проектов орошения основой является комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштаба 1:500000. Дополнительные наблюдения за режимом подземных вод организуют, если существующая региональная сеть скважин Мингео СССР и сеть Минводхоза СССР недостаточны.

Согласно ВСН-33-2.1-05—85 в результате исследований для обоснования проекта, помимо инженерно-геологической характеристики массива, должны быть получены данные для гидрогеолого-мелиоративного районирования массива.

На основе серии аналитических карт, в состав которых входят карты фактического материала, четвертичных отложений, геоморфологическая, гидрогеологическая, глубин залегания, минерализации и химического состава подземных вод, гидродинамическая, засоления пород зоны аэрации и эксплуатационных запасов подземных вод, составляется карта гидрогеолого-мелиоративного районирования.

При составлении проектов осущенния основу исследований и изысканий составляют материалы комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1:50000, включающей горнобуровые, геофизические, опытно-фильтрационные и другие исследования. Наиболее детально изучаются площади напорного питания грунтовых вод, районы распространения тяжелых грунтов и почв и др.

¹ Гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания для мелиоративного и водохозяйственного строительства. ВСН-33-2.1-05—85. М.: Минводхоз СССР, 1985. 85 с.

По материалам исследований составляется карта комплексного районирования — гидрогеолого-мелиоративного и инженерно-геологического, а в ряде случаев и почвенно-мелиоративного. На карте среди других данных должна быть характеристика причин заболачивания, условий и типов водного питания.

При проведении гидрогеологических исследований и изысканий для целей мелиорации используются изданные в 1987 г. пособия к ВСН-33-2.1-05—85, составленные ВНИИГиМ, ВСЕГИНГЕО и Союзводпроектом. Они состоят из трех томов: "Методика комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки", "Прогнозы режима подземных вод" и "Инженерно-геологическое прогнозирование".

Методика изысканий и исследований нуждается в дальнейшем совершенствовании. Это должно быть начато с разработки совершенных технологий и технических средств опробования. Необходимо совершенствование математических методов обработки информации и прогнозирования, включая математические методы прогноза химического состава грунтовых и дренажных вод. Пока недостаточно применяется разведочное моделирование, которое позволяет определить генеральное направление изысканий до начала работ и с достаточной полнотой решить необходимые вопросы выбора и обоснования проектных решений при минимальных затратах на изыскания.

Пока остаются неразработанными вопросы оптимизации гидрогеологических и инженерно-геологических изысканий и исследований. Состав их ясен, но определение объемов работ пока, к сожалению, производится субъективно, без достаточного научного обоснования.

Пока еще недостаточно используются упомянутые ранее дистанционные методы исследований. Они должны найти более широкое применение как в практике изысканий, так и при наблюдениях на уже мелиорированных землях. Однако дистанционные методы определения глубины залегания грунтовых вод на орошаемых землях пока остаются недостаточно разработанными. Благоприятные перспективы связаны с возможностью применения радиолокационных приборов коротковолнового диапазона, а также СВЧ-радиометрии, устанавливаемых на самолетах или вертолетах. Необходима разработка методов дистанционного определения минерализации грунтовых вод на поливных землях.

В составе методов гидрогеологического прогнозирования для целей мелиорации должны найти широкое применение постоянно действующие математические модели гидромелиоративных систем. Пока примеры их применения единичны (Укргипроводхоз, ВНИИКАМС и др.). Однако ценность получаемых данных при эксплуатации действующих и проектировании новых систем не оставляет сомнений в целесообразности использования ПДММ.

При гидрогеологических исследованиях и изысканиях для целей мелиорации первостепенное значение имеет изучение режима и баланса подземных вод. Прогнозирование режима и разработка мероприятий по регулированию режима подземных вод немыслимы без достоверных исходных данных по режиму и балансу. В этом плане следует

отметить крайне резкое отставание работ по изучению баланса подземных вод от требований практики. В первую очередь это относится к орошающим землям. Исследования водного и солевого баланса, проводимые как режимными гидрогеологическими партиями Мингео СССР, так и гидрологомелиоративной службой Минводхоза СССР, совершенно недостаточны для проектирования новых и реконструкции действующих гидромелиоративных систем. В то же время еще в 1982 г. Союзводпроектом была составлена "Схема развития водно-балансовых станций и опытно-производственных участков на мелиорированных землях до 2000 г." Эта "Схема" утверждена НТС Минводхоза СССР, но, к сожалению, практически не реализуется.

Существующая сеть скважин Мингео СССР для наблюдений за режимом подземных вод на мелиорированных землях, насчитывающая 10—11 тыс., недостаточна для выявления региональных закономерностей нарушенного и естественного режимов подземных вод. По этой сети скважин должно производиться изучение режима подземных вод в комплексе с изучением их баланса, что дает наиболее ценные результаты для решения задач мелиорации. По региональной сети следует изучать взаимосвязь грунтовых вод с напорными водоносными горизонтами, знание которой необходимо для оценки напорного питания грунтовых вод или расчета перетекания грунтовых вод в межпластовые водоносные горизонты. Пока эти задачи не поставлены перед региональной сетью наблюдательных скважин Мингео СССР. Необходимо расширение задач региональной сети, как и увеличение количества наблюдательных пунктов.

Гидрологомелиоративная служба Минводхоза СССР, в задачи которой входит контроль за мелиоративным состоянием орошаемых и осущеных земель, располагает весьма разветвленной сетью ведомственных наблюдательных скважин и водно-солевых площадок. Но наблюдения по этой сети имеют ограниченную продолжительность и поэтому не могут заменить региональную сеть Мингео СССР.

Гидрологомелиоративная служба Минводхоза СССР выполняет важные работы, следя за изменениями мелиоративной обстановки. Данные наблюдений за режимом грунтовых вод и засоленностью почв используются для решения многих задач и в первую очередь следующих:

корректирование режимов орошения поливных культур в аридной зоне и планирование увлажнения осущеных почв в гумидной зоне;

планирование эксплуатационных мелиоративных мероприятий, включая улучшение работы дренажа;

оценка достоверности гидрологомелиоративных прогнозов;

обоснование проектов реконструкции гидромелиоративных систем.

Результаты наблюдений передают в форме оперативной информации колхозам и совхозам, управлению оросительных и осушительных систем, организациям Госагропрома.

По данным наблюдений составляется кадастр мелиоративного состояния орошаемых и осущеных земель, используемый для оценки мелиорированных площадей и планирования необходимых мелиоративных мероприятий.

Следует отметить, что данные натурных наблюдений мелиоративной службы могут использоваться при проектировании гидромелиоративных систем в районах-аналогах, что повышает значение материалов этой службы, при условии правильной организации ее работ и выполнения их специалистами соответствующей квалификации.

Обоснование возможности использования метода аналогов должно мотивироваться не только сходством геоморфологических условий, типа почв и пр. Необходимо математически доказать натурное подобие объекта проектирования изученному району-аналогу.

Методика разведки и оценки эксплуатационных запасов подземных вод для орошения представляет объект специального рассмотрения.

Одним из возможных путей развития гидротехнической мелиорации на современном этапе является более широкое использование для орошения и обводнения земель запасов подземных вод. Суммарные запасы подземных вод обычно подразделяют на статические (вечевые) и динамические (эксплуатационные, ежегодно восполняемые) запасы. Практическое значение для целей мелиорации имеют только динамические, или эксплуатационные, запасы вод подземной гидросферы.

Анализ опыта мелиоративного строительства в зарубежных странах показывает, что вопросам использования для орошения земель запасов подземных вод там уделяется очень большое внимание. Достаточно сказать, что в США 45% всех орошаемых земель поливается подземными водами, в Индии и Пакистане — 30%, в Мексике — 20%. Что касается нашей страны, то у нас на базе подземных вод орошается совершенно незначительная часть общей площади орошения.

В то же время чрезмерно интенсивное использование для орошения подземных вод в США привело к очень серьезным негативным последствиям, и в первую очередь потому, что начался интенсивный отбор для поливов не только всего объема динамических, но также и части статических запасов подземных вод. Допускать такую ошибку мы не должны.

Районами, наиболее благоприятными для использования подземных вод на орошение, следует считать:

все районы, где отбор слабоминерализованных подземных вод одновременно разрешает проблему дренирования орошаемых земель или сработку горизонтов грунтовых вод ниже "критического уровня" для земель, подвергающихся опасности вторичного засоления. Такие условия, например, имеют место в Ферганской долине, в Чуйской впадине, в южных районах Голодной степи, в Дальверзинской степи, в Карабахской степи, в районе Каракумского и других каналов;

районы с большими естественными восполняемыми ресурсами подземных вод. Наиболее часто такие условия имеют место в крупных речных долинах, в пределах конусов выноса, на предгорных равнинах, сложенных аллювиально-пролювиальными отложениями и т.д.;

некоторые районы со значительными искусственными ресурсами подземных вод. В первую очередь это районы, где возможен перехват потоков подземных вод, питаемых крупными водохранилищами и оросительными каналами.

Если в регионах развития регулярного орошения аридной зоны эффективность использования подземных вод должна определяться технико-экономическим анализом, возможностью сочетания с вертикальным дренажем и т.д., то необходимость развития оазисного орошения в полупустынных и пустынных районах страны (пастбищная зона) является несомненной, хотя и требует правильного, обоснованного определения эксплуатационных запасов подземных вод с учетом первоочередного удовлетворения потребностей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Использование подземных вод в пастбищной зоне обладает следующими преимуществами: создает возможность отбора воды равномерно на больших территориях (для обычного обводнения требуется незначительное количество воды на одном водопойном пункте); создает возможность кратковременного интенсивного отбора воды для орошения кормовых культур в период вегетации растений с последующим постепенным восполнением запасов подземных вод в другие периоды года; позволяет быстро и автономно строить и вводить в действие отдельные объекты с привлечением средств колхозов и совхозов.

Проблема широкого использования для орошения запасов подземных вод пока только ждет своего решения, однако совершенно очевидно, что на их базе можно орошать большие площади засушливых земель.

В последующие годы во всех регионах орошаемого земледелия развернутся крупномасштабные работы по реконструкции оросительных систем. Понятно, что для эффективного проведения этих работ необходимо будет их научное обоснование. В связи с этим следует отметить одну из весьма важных проблем мелиоративного строительства — разрыв между темпами ввода новых орошаемых земель и строительством дренажа, т.е. несоблюдение комплексности строительства оросительных систем. Это приводит не только к существенному снижению плодородия почв, но и к огромным непроизводительным затратам водных ресурсов. Например, в условиях Средней Азии для проведения эксплуатационных промывок вторично засоленных земель ежегодно расходуется не менее 3 тыс. m^3 воды на гектар. В то же время таких земель насчитывается здесь около 1,5 млн. га. Если бы оросительные системы строились комплексно, т.е. с наличием дренажа на площадях с низкой естественной дренированностью, то это позволило бы во многих случаях не проводить ежегодных промывок, зарегулировать в водохранилищах и затем использовать для орошения огромный объем (несколько кубических километров) дополнительно располагаемых водных ресурсов. Таким образом, строительство дренажа является одним из важнейших, принципиальных вопросов реконструкции оросительных систем.

Н.И. Плотников, А.А. Карцев, В.Д. Ломтадзе, И.И. Рогинец
**Итоги и задачи изучения
изменений геологической среды
при разработке месторождений
полезных ископаемых**

Из всех известных направлений общественного производства в нашей стране наиболее существенное техногенное влияние на окружающую среду отмечается в области горнодобывающей промышленности. По характеру и интенсивности техногенной нагрузки на окружающую среду в общей структуре горнодобывающей промышленности целесообразно выделить следующие ее отрасли: а) горнорудную и угольную промышленность, б) промышленность горнохимического сырья, в) нефтяную и газовую промышленность.

Каждая выделенная отрасль горнодобывающей промышленности имеет свои особенности в технологической схеме добычи полезного ископаемого, глубину проникновения в недра Земли, геологические и гидрогеологические условия промышленной отработки и в то же время особенности технического изменения свойств геологической и окружающей среды в целом. Все это вместе взятое и определяет необходимость изучения общей проблемы в целом. Рассмотрим влияние деятельности горнорудной, угле- и нефтедобывающей промышленности на окружающую среду.

В послевоенный период в развитии горнорудной и угольной промышленности отмечаются следующие особенности [1—5]:

высокие темпы развития — примерно через каждые 12—15 лет добыча твердых полезных ископаемых в нашей стране почти удваивается [1];

до 60—70% руд, углей и других полезных ископаемых добывается в настоящее время открытым способом;

отмечается освоение более глубоко залегающих рудных горизонтов и угольных пластов — шахтным способом отрабатываются руды и угли на глубинах до 1500—1600 м, карьерным способом — на глубинах более 250—350 м;

все больше и больше в эксплуатацию вовлекаются месторождения, имеющие весьма сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия промышленного освоения, требующие внедрения на объектах предварительного, а затем и постоянного эксплуатационного осушения на весь период отработки объекта, в связи с этим из недр Земли извлекаются большие объемы весьма ценных, часто пресных, подземных вод;

четко отмечается тенденция одновременной отработки большой группы близко расположенных друг к другу рудных месторождений, угольных месторождений в бассейнах, имеющих также очень сложные природные условия;

все структурные подразделения, входящие в состав горнорудного предприятия (горный цех, отвалы пустых пород и окисленных руд, обогатительные фабрики, хранилища промстоков, металлургические и химические заводы, водозaborные сооружения и городские территории), чаще всего располагаются компактно на сравнительно небольшой площади, что приводит к весьма существенной и сконцентрированной техногенной нагрузке на окружающую среду.

По своей совокупности перечисленные выше особенности развития горнорудной и угольной промышленности определили весьма существенное и длительное техногенное воздействие на изменение состояния и свойств геологической и часто окружающей среды в целом не только на локальных участках отдельных месторождений, но и в региональном плане, охватывая при этом большие площади техногенного воздействия. Эти изменения происходят преимущественно под негативным влиянием целого комплекса техногенных процессов, формирование которых и происходит в период длительной эксплуатации месторождений.

Исследованиями было установлено, что эксплуатация компактно расположенных на месторождениях объектов, особенно при их групповой промышленной отработке, приводит к значительному ухудшению экологического качества окружающей среды, к изменению общих ландшафтных условий. С геологических позиций влияние техногенеза на эволюционное преобразование верхних слоев литосферы приводит к формированию техногеосферы, обладающей качественно новым состоянием и свойствами геологической среды. При этом по степени и характеру воздействия на литосферу в районах горнодобывающей и угольной промышленности могут иметь место начальная стадия формирования техногеосферы, стадия зрелости и стадия существенных изменений состояния и свойств геологической среды. Поскольку литосфера и ее основные компоненты (горные породы, подземные воды, природные газы и микроорганизмы) являются неотъемлемой и составной частью окружающей среды, последняя также претерпевает техногенное изменение.

Таким образом, в стадию интенсивного развития горнорудной и угольной промышленности возникла очень важная для практики проблема современной гидрогеологии и инженерной геологии — защита окружающей среды при осушении горных разработок и эксплуатации сопутствующих объектов горнорудного предприятия [6,7].

Эта проблема сформировалась под влиянием запросов практики и современных требований необходимости наиболее рациональных и безопасных условий промышленной отработки рудных и угольных месторождений, предусматривающих снижение негативного влияния техногенеза, широкого использования рудничных (шахтных) вод как ценнейшего полезного компонента для нужд водоснабжения и орошения предприятия, применения на месторождениях наиболее эффективных схем осушения горных работ, а также рационального размещения по площади всех основных объектов предприятия.

Главным фактором эволюционного преобразования геологической среды при эксплуатации рудных и угольных месторождений являются

ся гидрогеологические и инженерно-геологические техногенные процессы; механизм большого комплекса техногенных процессов при этом четко определяется направленностью тепломассопереноса. По направленности тепломассообмена всю совокупность техногенных процессов можно подразделить на три основные группы: первая объединяет группу процессов, при формировании которых происходит изъятие тепла и массы, направленных из недр Земли на поверхность; вторая — группу процессов, при формировании которых тепломассообмен имеет противоположную направленность [2,3]. Третья группа, занимающая особое место среди техногенных процессов — гидрогеохимических процессов, определяющих условия загрязнения основного компонента геологической среды — подземных вод, — формируется при самой различной направленности тепломассообмена.

Наиболее существенное влияние на изменение состояния и свойств геологической среды оказывает первая группа техногенных процессов. Именно осушение водоносных горизонтов как необходимое средство создания безопасных условий промышленной отработки месторождения полезных ископаемых и мощный фактор техногенной нагрузки на окружающую среду приводит к формированию целого комплекса техногенных процессов; аналогичного характера техногенные процессы формируются на участке крупных, групповых водозаборных сооружений. В табл. 1 приведен краткий перечень наиболее характерных и распространенных на горнорудных и угольных предприятиях техногенных процессов первой группы [1, 4, 5].

Целесообразно прокомментировать некоторые техногенные процессы, наиболее существенно влияющие на изменение состояния и свойств геологической среды.

На рудных и угольных месторождениях, на которых распространены напорные водоносные горизонты, техногенные процессы осушения приводят к формированию региональной депрессионной воронки на значительной площади гидродинамического влияния с радиусом нередко более 40—50 км. На этой площади в совокупности с эксплуатацией других объектов горного предприятия (например, водозаборных сооружений) происходит коренное изменение свойств и состояния геологической и нередко окружающей среды в целом. Если учесть при таких гидрогеологических условиях одновременную промышленную отработку целой группы рудных месторождений (например, железорудные месторождения Курской магнитной аномалии в СССР, угольные месторождения Западного Донбасса и др.), то нетрудно представить, что интенсивное осушение надрудных (надугольных) водоносных горизонтов определяет, по существу, формирование техногеосферы в региональном плане.

С осушением пород, слагающих напорный водоносный комплекс, связано формирование очень сложных по своей природе процессов депрессионного уплотнения песчано-глинистых образований; под влиянием этих процессов происходит довольно интенсивное проседание поверхности, что приводит к деформациям горных выработок, поверхностных и подземных коммуникаций. Так, например, при предварительном осушении участков строительства шахтных стволов на

Таблица 1
Перечень и краткая характеристика техногенных процессов первой группы

Техногенные процессы	Характер и степень техногенного воздействия на окружающую среду
Процессы осушения водоносных пород надрудных и рудовмещающих (угленосных) толщ	Истощение естественных запасов подземных вод; существенное ухудшение общих ландшафтных условий; коренное нарушение взаимосвязи подземных и поверхностных вод; дренирование родников, колодцев, водозаборных скважин, нарушение структуры общего водного баланса и др.
Процессы вторичной консолидации осущенных рыхлых пород	Деформация поверхности и подземных коммуникаций, нередко поверхностных сооружений
Процессы депрессионного уплотнения песчано-глинистых пород, формирующиеся при снижении пластового давления	То же
Процессы сдвижения горных пород в зоне влияния горных разработок и процессы обрушения кровли выработанного пространства	Значительная деформация поверхности, подземных коммуникаций и нередко поверхностных сооружений
Суффозионно-карстовые процессы, формирующиеся при осушении водоносных карбонатных пород	Образование на поверхности провальных воронок; деформация поверхностных сооружений и подземных коммуникаций
Процессы фильтрационной деформации горных пород на уступах карьеров	Оползания горной массы по уступам карьера
Оползневые процессы слабо осущенных рыхлых пород при открытой отработке месторождений	Деформация борта и уступов карьера и нарушение ритма работ
Процессы внезапного прорыва рудничных вод и плытунов в подземные горные выработки	Деформация и затопление горных выработок; нарушение общего ритма добывочных работ
Гидрохимические процессы (под влиянием окисления рудной минерализации в подземных выработках и на поверхности, фекального сброса в подземных выработках и др.)	Химическое и санитарное загрязнение подземных и поверхностных вод
Гидродинамические процессы	Выброс угля и газов в подземные горные выработки
Геодинамические процессы	Горные удары в подземных горных выработках и др.
Пучение глинистых пород	Обрушение выработки и деформация крепления

Южно-Белозерском железорудном месторождении проседание поверхности достигло 2,5—3,5 м. Это привело к значительной деформации шахтных стволов и потребовало их переоборудования, а дальнейшая проходка осуществлялась под защитой специального крепления.

При осушении подземных горных выработок на угольных шахтах

Западного Донбасса произошло весьма существенное проседание поверхности в долине р. Самара; в результате река превратилась в систему мелких озер, что ухудшило условия водообильности шахтных полей.

С осушением водоносных рудовмещающих карбонатных пород связано формирование на месторождении суффозионно-карстовых техногенных процессов. Механизм этих процессов довольно просто объясняется — из древних карстовых полостей под влиянием увеличения градиентов подземного потока происходит эрозионный вынос мелокозернистого материала; однако прогнозировать формирование суффозионно-карстовых процессов в пространстве и во времени очень сложно. Именно поэтому образование на поверхности внезапных провальных воронок и связанные с этим деформации поверхностных сооружений на практике нередко приносят большой ущерб горнорудным предприятиям. Как показывают наблюдения, суффозионно-карстовые процессы в той или иной мере проявляются на всех месторождениях, приуроченных к обводненным карбонатным породам. Наиболее интенсивно эти процессы зарегистрированы на Северо-Уральских бокситовых месторождениях, где провальные на поверхности карстовые воронки приводят к деформации бетонных лотков, установленных для отвода шахтных вод, а также гражданских сооружений; на Миргалимсайском рудном месторождении суффозионно-карстовые процессы были зарегистрированы непосредственно в черте г. Кентау и вызвали не только деформацию поверхности, но и поверхностных сооружений.

Весьма существенное изменение геолого-промышленной обстановки происходит при формировании оползневых техногенных процессов по уступам борта карьера. Исследованиями было установлено, что эти техногенные процессы всегда формируются при карьерной отработке рудных месторождений, приуроченных к слабоустойчивым горным породам, когда недооцениваются проблемы предварительного и эксплуатационного осушения водоносных горизонтов на объекте. Оползневые процессы на карьерах нередко могут приобретать значительные масштабы и существенно нарушать общий ритм работы предприятия. Очень часто оползневые техногенные процессы по уступам карьеров проявляются на угольных месторождениях, при эксплуатации медных месторождений Урала и Казахстана, при отработке открытым способом железорудных месторождений Курской магнитной аномалии и др. Осушение песчано-глинистых пород по бортам карьера следует рассматривать как фактор, обеспечивающий их устойчивость по уступам карьера.

Особое место в механизме формирования техногенеза горнодобывающего профиля занимают техногенные процессы вторичной консолидации осущенных, сравнительно мощных, рыхлых пород (более 60—100 м). Под влиянием интенсивного осушения рыхлые песчано-гравелистые и песчано-глинистые породы (основной компонент геологической среды) существенно изменяют физико-механические свойства — происходит их вторичное уплотнение и, как следствие, проседание поверхности. Под влиянием этих процессов, например, на Зыря-

новском рудном месторождении были зарегистрированы случаи существенной деформации сквозных водопонижающих фильтров в действующих осушительных системах. На месторождении была осушена 120-метровая толща рыхлых пород; в результате этих процессов линейный ряд сквозных фильтров был, по существу, выведен из строя.

Техногенные процессы, приводящие к внезапным прорывам рудничных вод в систему подземных горных выработок, формируются в сложных гидрогеологических условиях, когда производится, вопреки правилам по технике безопасности, проходка горных выработок при высоких сохранившихся над выработками остаточных гидростатических напорах. Происходит это чаще всего в условиях фильтрационно-неоднородных водоносных карбонатных пород. Внезапные прорывы рудничных вод приводят к коренному изменению гидрогеологических условий проходки горных работ, аварийной ситуации на рудниках и к временному затоплению не только на отдельных горизонтах, но и шахты в целом. В связи с этим нетрудно представить, какой огромный материальный ущерб горнорудным предприятиям могут нанести техногенные процессы внезапных прорывов рудничных вод в систему подземных горных работ.

Из первой группы техногенных процессов наибольшее негативное влияние на изменение свойств геологической среды оказывают процессы истощения естественных запасов пресных подземных вод. Отсюда и возникает весьма важная проблема — поиски эффективных путей сохранения ресурсов пресных подземных вод, а также рационального их использования для целей водоснабжения и орошения. Осушение надрудных водоносных горизонтов и рудовмещающих пород, как отмечалось, является непременным требованием для создания безопасных условий промышленной отработки рудных месторождений. Эти противоречия могут быть устранины, если применять в необходимых случаях наиболее эффективные схемы осушения горных разработок на месторождениях полезных ископаемых.

Негативное влияние техногенных процессов второй группы, когда тепломассообмен направлен из поверхности в недра, имеет существенно иной характер. В табл. 2 приведен краткий перечень наиболее распространенных техногенных процессов второй группы [1, 2, 8].

Целесообразно отметить некоторые особенности формирования техногенных процессов второй группы, кратко охарактеризовать их негативное влияние на изменение свойств окружающей среды. Как видно из данных табл. 2, негативное влияние техногенных процессов на изменение свойств и состояния геологической и окружающей среды в целом проявляется преимущественно в форме химического загрязнения подземных и поверхностных вод токсичными компонентами — гидрохимических техногенных процессов. Главной причиной загрязнения подземных и поверхностных вод является несовершенство сооружений хранилищ промстоков и несовершенное хранение отвалов пустых пород и окисленных руд. Во всех случаях эксплуатации хранилищ промстоков происходят инфильтрационные потери жидкой их фазы, наступает начальный этап загрязнений пород зоны аэрации и затем подземных вод. От очагов за-

Таблица 2

Техногенные процессы второй группы, формирующиеся при эксплуатации рудных и угольных месторождений

Техногенные процессы	Характер и степень техногенного воздействия на окружающую среду
Инфильтрация жидких промстоков из хвостохранилищ и шламохранилищ (преимущественно через дно хранилищ)	Химическое загрязнение подземных и поверхностных вод и, как следствие, ухудшение биологического качества общего ландшафта на прилегающей территории
Миграция в подземных водах токсичных компонентов от очагов загрязнения вниз по потоку (на участках хранилищ промстоков, отвалов пустых пород и окисленных руд) и формирование гидрогеохимических ореолов загрязнения геологической среды	Химическое загрязнение подземных вод, в том числе нередко продуктивного водоносного горизонта, ресурсы которого используются для целей хозяйствственно-питьевого водоснабжения
Процессы фильтрационной деформации в теле пионерной дамбы хранилищ промстоков	Частичная деформация сооружения, нередко приводящая к аварийному состоянию хранилищ промстоков
Процессы ветровой эрозии техногенных накоплений, складируемых на площади хранилищ промстоков (твердая фракция промстоков)	Неоднократно повторяемые пыльные бури, приводящие к загрязнению почв, воздуха, поверхностных вод, к биологическому ухудшению качества окружающей среды
Процессы подъема уровня почвенных и грунтовых вод на площади городских территорий предприятия за счет техногенного их питания (потери водонесущих подземных коммуникаций, а также поливных вод)	Подтопление городских территорий и, как следствие, деформация поверхностных сооружений и подземных коммуникаций городских территорий предприятия

грызния начинается миграция токсичных компонентов в подземных водах главным образом по водоносному горизонту и в меньшей степени по вертикали; формируется в геологической среде ореол загрязнения.

Исследованиями было установлено, что миграция химических загрязнений подземных вод во многих случаях является очень устойчивым процессом во времени и пространстве и часто требует весьма сложных инженерных мер защиты. Известны примеры в практике деятельности горнорудных предприятий, когда миграция фенола в поверхностных и подземных водах достигает нескольких десятков километров без заметного их окисления и сорбирования в горных породах.

Из опыта эксплуатации сооружений хранилищ промстоков известны примеры частичной, но существенной деформации их пионерной дамбы под влиянием техногенных суффозионно-фильтрационных процессов, которые формируются на участках несовершенной дренажной системы сооружений. Эти техногенные процессы проявляются в связи с инженерными строительными просчетами, поэтому легко могут быть устранены.

Существенное негативное влияние на изменение экологического качества окружающей среды могут оказать процессы ветровой эрозии накопителей твердых промстоков на площади их хранилищ. Дело в том, что тонкие фракции твердых промстоков после их осушения очень легко подвергаются разрушению ветром, также легко переносятся по воздуху, образуя периодически пыльные бури, что и приводит к рассеиванию химических загрязнений, прежде всего в почвенном покрове, а затем и в поверхностных водах. Аналогичные процессы ветровой эрозии наблюдаются на территориях при эксплуатации угольных месторождений.

Химическое загрязнение отдельных компонентов окружающей среды может происходить и под влиянием процессов окисления различной сульфидной минерализации, находящейся в рассеянном виде в пустых горных породах на площади их складирования на поверхности, а также на площади временного хранения на поверхности окисленных руд, которые часто требуют особой схемы обогащения.

Тепломассообмен может протекать непосредственно внутри геологической среды при взаимодействии ее основных компонентов. При этом формируются процессы ионно-катионного обмена между горными породами и подземными водами. Этот сложный гидрогеохимический процесс в конкретных условиях рудных месторождений изучен очень слабо.

Таким образом, под влиянием техногенных процессов второй группы на горнорудных предприятиях четко формируются преимущественно техногенные процессы, приводящие к образованию геохимических ландшафтов, что неоднократно подчеркивал еще в 40-х годах текущего столетия в своих трудах академик А.Е. Ферсман. Исключением из этого правила являются техногенные процессы подтопления городских территорий горнорудных и угледобывающих предприятий. Эти процессы в значительной степени изменяют свойства геологической среды непосредственно под фундаментами поверхностных гражданских и промышленных сооружений. Практически основной компонент геологической среды в той или иной степени постоянно насыщен природными газами. Поэтому в подземных водах рудных и, тем более, угольных месторождений всегда присутствуют газы растворенные или в свободном состоянии. Однако в процессе эксплуатации некоторых рудных месторождений была выявлена повышенная газоносность геологической среды. В одном случае газоносность рудных месторождений определяется процессами дегазации угольных пластов, залегающих ниже по разрезу рудных залежей (преимущественно метан, в меньшей степени углекислый газ), а в другом — глубинным их происхождением (преимущественно углекислый газ, метан, сероводород).

Как показали исследования, основными путями миграции газа на рудных объектах являются крутопадающие тектонические нарушения, сопровождаемые зоной дробления, в том числе и по рудным жилам. Подземные воды на объектах играют положительную роль в естественной дегазации угольных пластов и рудных тел, приобретая в зоне азотно-метановых газов сульфатно-кальциево-натриевый

состав и повышенную минерализацию. На рудных месторождениях, расположенных в области распространения многолетнемерзлых пород, подмерзлотные воды, насыщенные газом, имеют очень высокую минерализацию — от 40—60 до 270—370 г/л; по составу они относятся к хлоридно-кальциевым рассолам. Присутствие природного газа усложняет техногенную обстановку промышленного вскрытия рудных месторождений; в подземных горных выработках рудничный воздух интенсивно насыщается углекислым газом и метаном, что требует принятия дополнительных мер защиты для безопасности работ и, кроме того, при сбросе рудничных вод на поверхность загрязняет окружающую среду, что также требует принятия дополнительных защитных мер.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что в совокупном проявлении большого комплекса гидрогеологических и инженерно-геологических техногенных процессов в районах действия горнодобывающих предприятий формируется техногенез горнорудного профиля — понятие, которое было заложено академиком А.Е. Ферсманом. Именно в результате действия техногенеза происходит эволюционное преобразование верхней части литосферы в техногеосферу, в которой основные компоненты геологической и нередко окружающей среды в целом приобретают качественно новые состояния и свойства. При этом отмечается, что в ходе техногенной перестройки геологической среды ее структура изменяется относительно быстрей, чем ее состав. Реакция геологической среды на техногенное воздействие — это прежде всего характер протекания различных техногенных процессов и соответствующий им массо- и энергоперенос. В силу этого изучение закономерностей формирования техногенных процессов и техногенеза в целом и оценка степени их влияния на изменение свойств окружающей среды являются главной теоретической основой современного содержания техногенного направления гидрогеологии и инженерной геологии [1, 2, 4, 7, 9].

Важным разделом рассматриваемой проблемы является своевременная прогнозная оценка возможного развития техногенных процессов и степени их негативного влияния на окружающую среду. Для некоторых хорошо изученных техногенных процессов (формирование депрессионной воронки при осушении горных работ, общих водопритоков в систему горных выработок, гидродинамическое влияние горных разработок на окружающую среду, процессы вторичной консолидации осущенных рыхлых пород, депрессионное уплотнение песчано-глинистых пород при снятии пластового давления в напорных горизонтах и др.) в настоящее время достаточно хорошо разработаны методы их прогноза, позволяющие с большей достоверностью оценить возможное их влияние на изменение свойств геологической и окружающей среды в целом. Эти методы позволяют решать практические задачи либо аналитическими расчетами, либо методами математического моделирования. Разработаны также методы прогнозной оценки миграции в подземных водах токсичных компонентов и т.д. Однако наряду с этим в настоящее время отсутствуют количественные методы прогнозной оценки для ряда других слабо изученных техно-

генных процессов (например, суффозионно-карстовых процессов при осушении карбонатных пород и др.), что сдерживает разработку гидрогеологических основ защиты окружающей среды от их негативного воздействия.

Особым разделом рассматриваемой проблемы является защита окружающей среды при горных разработках месторождений полезных ископаемых от негативного влияния техногенных процессов. В настоящее время в этом направлении можно отметить целый ряд весьма эффективных защитных мер. Однако при этом целесообразно указать, что защитные меры должны разрабатываться для каждого изучаемого объекта не из частных решений общей проблемы, рассматривающих отдельно взятые гидрогеологические или инженерно-геологические техногенные процессы, а в совокупности их проявления, при их взаимодействии, что позволяет учитывать комплексное воздействие всех процессов в целом на эволюционное преобразование окружающей среды. Меры защиты окружающей среды, таким образом, должны приниматься с учетом техногенеза в целом; в этом и состоит сущность концепции техногенеза, формирующегося при эксплуатации рудных и угольных месторождений.

Исходя из этой концепции, кратко можно следующим образом охарактеризовать основные направления работ по защите геологической и окружающей среды при осушении горных разработок на рудных месторождениях.

В стадии проектирования горнодобывающих предприятий непременным условием для успешной защиты свойств геологической среды является прежде всего обоснование наиболее рационального размещения по площади всех основных эксплуатационных объектов, входящих в общую структуру будущего горнодобывающего предприятия.

Если будущие контуры горных работ на предприятии четко определяются пространственным размещением по площади и глубине рудных залежей на месторождении, то все остальные объекты предприятия (обогатительная фабрика, хвостохранилище, отвалы пустых пород, водозабор и городская территория) должны быть размещены в строгом соответствии с прогнозной оценкой возможного развития на их площади техногенеза в целом и его негативного влияния на окружающую среду. Именно с учетом этих требований на предприятии должны быть запроектированы все структурные подразделения, включая город. Что же касается прогнозной оценки возможного развития на будущем предприятии техногенеза, то она должна быть выполнена в стадию предпроектных проработок на базе глубокого научного анализа геолого-гидрогеологической и инженерно-геологической информации, полученной в стадию разведки месторождения, характера и степени техногенной нагрузки на окружающую среду. В связи с этим должна быть в значительной степени повышена роль, значение и ответственность комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, которые проводятся обычно в стадию разведки месторождений.

Как уже отмечалось, наиболее интенсивные техногенные изменения природных условий на месторождении происходят непосредственно на площади осушения горных разработок будущего предприятия. Это обстоятельство требует уже в стадии предпроектных проработок разработать для каждого объекта наиболее рациональную схему осушения объекта с учетом решения задач по эффективной защите окружающей среды и максимальному использованию рудничных вод для нужд водоснабжения и орошения горнодобывающего предприятия. К таким рациональным схемам осушения, например, могут быть отнесены:

1. Схема "осушение—водоснабжение", в которой четко предусматривается обеспечение безопасных условий промышленной отработки месторождения путем создания преимущественно внешних систем осушительных устройств (линейный, кольцевой, ряды водопонизительных скважин, сквозные фильтры и др.), позволяющих сохранить качество пресных подземных вод и рационально использовать их для целей хозяйствственно-питьевого водоснабжения горнорудного предприятия, что очень важно, особенно для районов с острым дефицитом водных ресурсов.

2. Схема "осушение под защитой противоинфилтратационных завес", позволяющая весьма эффективно обеспечить защиту пресных подземных вод от их истощения и использовать для различных целей (водоснабжения или орошения).

3. Схема "осушение и обратная закачка дренажных вод в глубокие горизонты", позволяющая обеспечить безопасные условия отработки рудных залежей и защиту окружающей среды от подземных вод высокой минерализации (рассолы), распространенных на некоторых рудных или угольных месторождениях.

4. "Комбинированная схема осушения", состоящая из рационального сочетания отдельных элементов трех типовых схем, отмеченных выше, для объектов, имеющих весьма сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия.

Опыт эксплуатации хранилищ промстоков показывает, что с целью эффективной защиты геологической среды от химических загрязнений целесообразно отказаться от практики проектирования и строительства хвостохранилищ без тщательного покрытия его основания противофильтрационными средствами, в том числе создания противоинфилтратационных глиноцементных экранов. Кроме того, при проектировании хранилищ целесообразно предусматривать создание вдоль пионерной дамбы защитной дренажной завесы, состоящей из линейного ряда буровых скважин, с помощью которых профильтировавшиеся жидкие промстоки в горизонт подземных вод могут быть откачаны и вновь переброшены в отстойник накопителей. Практика на некоторых объектах показывает высокую эффективность подобных средств защиты. Не менее важным фактором защиты геологической среды от загрязнения является перевод обогатительных фабрик на замкнутый цикл водоснабжения. Решающим фактором в этой проблеме является разработка и внедрение новой прогрессивной технологии обогащения руд с минимальным водопотреблением.

В стадии проектирования горнодобывающего предприятия крайне необходимо также учитывать рациональное размещение автономного водозаборного сооружения питьевого назначения, чтобы избежать возможного дренирования продуктивного водоносного горизонта водозабора системой осушительных устройств при горных разработках. По этой причине, как показывает опыт, на некоторых горнорудных предприятиях питьевой водозабор трижды пришлось перебазировать на новые участки. Особые требования в этой стадии должны соблюдаться при проектировании городских территорий предприятия.

Осуществить защитные мероприятия по охране окружающей среды в стадии эксплуатации месторождений значительно сложней. Научно-методической основой для обоснования защитных мер могут служить результаты повторной (техногенной) комплексной гидро-геологической и инженерно-геологической съемки на площади влияния всех объектов предприятия на окружающую среду, а также информация стационарного изучения техногенных процессов, которые должны быть организованы на всех предприятиях. Такую техногенную комплексную съемку целесообразно проводить на месторождениях, на площади которых выявлены сложные условия эволюционного преобразования литосферы под влиянием техногенеза (формирование на месторождении техногеосферы в стадии ее зрелости и существенное качественное изменение состояния и свойств геологической среды).

Очень важное значение для оценки степени изменения и состояния основных компонентов геологической среды имеют дистанционные методы исследований, позволяющие весьма достоверно выделить участки техногенных изменений, а также наземные геофизические исследования, в состав которых должен входить спектральный анализ геофизических полей техногеосферы. Как правило, в результате техногенных изменений геологической среды под влиянием горных разработок происходит обогащение спектров физических полей более высокочастотными составляющими за счет интенсивного обмена веществом и энергией с окружающей средой.

Опыт, накопленный в Советском Союзе, показывает, что эффективность защитных мер геологической и окружающей среды в целом может быть обеспечена, когда учитываются особенности каждого рудного или угольного объекта, результаты техногенных исследований и влияние техногенеза в целом на изменение свойств окружающей среды. В связи с этим существенно возрастает роль и значение целенаправленного стационарного изучения режима подземных вод и техногенных процессов на площади всех основных структурных подразделений действующего горнодобывающего предприятия (горного цеха, отвалов пустых пород, хвостохранилищ, шламохранилищ, городских территорий, водозаборных сооружений). Именно с этой целью на крупных и сложных по своей структуре горнорудных предприятиях должен быть организован с контрольно-предупредительными функциями техноМониторинг — автоматизированный комплекс изучения режима подземных вод и техногенных процессов.

Опыт некоторых стран показывает, что хорошо организованный мониторинг техногенных процессов (например, в Венгерской Народной Республике на бокситовых месторождениях, тяготеющих к озеру Балатон и др.) позволяет управлять режимом подземных вод при осушении горных разработок и научно обосновывать природоохранные мероприятия.

Особое место в рассматриваемой проблеме занимает влияние разработки нефтяных и газовых месторождений на геологическую среду. При эксплуатации объектов этой отрасли горнодобывающей промышленности окружающая среда испытывает весьма существенную техногенную нагрузку. По характеру воздействия нефтегазодобывающая промышленность принципиально отличается от других отраслей горнодобывающей промышленности прежде всего глубоким проникновением в геологическую среду техногенных процессов (до 5—6 и нередко 7 км), а также разработкой нефтегазовых месторождений непосредственно в морских акваториях.

В связи с этими особенностями геологическая среда на нефтяных и газовых месторождениях приобретает очень сложное строение и свойства. Главная черта геологической среды состоит в существенном влиянии на ее свойства газовых и органических компонентов, а также присутствии в разрезе двух несмешивающихся жидкостей — нефти и подземных вод.

Необходимо отметить, что в нашей стране техногенные изменения геологической и окружающей среды в целом при эксплуатации нефтяных и газовых месторождений изучены еще слабо. На многих объектах, как правило, не проводятся комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические стационарные исследования; в результате невозможно полностью охарактеризовать гидрогеологические аспекты техногенеза нефтяных и газовых месторождений. Главная особенность в техногенезе нефте- и газодобывающих комплексов состоит в своеобразии техногенной нагрузки на геологическую среду, когда происходит взаимодействие процессов — мощного отбора из недр полезных компонентов и не менее мощного нагнетания в продуктивные пласти воды и реагентов.

В общей оценке возможных изменений следует остановиться на различных видах негативного влияния техногенных процессов, сопровождающих разработку месторождений нефти и газа на геологическую и окружающую среду в целом. Из таких видов можно выделить: загрязнение, физическое нарушение нефтеносной структуры, истощение ресурсов подземных вод.

Главные разновидности загрязнений геологической среды:
углеводородные загрязнения,
засоление солеными водами и рассолами, получаемыми попутно с нефтью и газами,

загрязнение специфическими микрокомпонентами (в этой категории особо следует выделить сернистые соединения).

Все эти виды химических загрязнений могут вредоносно действовать на органический мир, техногеосферу, ландшафты, водоемы, водные растворы в земной коре (подземные воды).

Физические нарушения геологической среды в формах проявления просадок и провалов земной поверхности, подтоплений могут негативно воздействовать на техногеосферу и изменение ландшафта.

Истощение ресурсов подземных вод может угрожать прежде всего естественным запасам подземных вод пресных, минеральных, термальных, в том числе в форме разубоживания (разбавления) ценных минеральных вод и рассолов в нефтеводоносных пластах при закачке туда посторонних вод для поддержания пластового давления (в целях повышения нефтеотдачи). Истощение естественных запасов часто переплетается с загрязнением почвенных вод. В некоторых случаях истощению могут подвергаться и поверхностные воды, используемые для заводнения нефтяных пластов.

Охрана окружающей среды при разработке нефтяных и газовых месторождений представляется как система оптимизационных мер — профилактических и ликвидационных, — опирающихся на соответствующие прогнозы и проектные решения. Это главная часть всей проблемы в целом для рациональной эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Гидрогеологические предпроектные (а также и на последующих этапах) исследования играют важную роль для обоснования прогнозов техногенных процессов, сопутствующих разработке месторождений нефти и газов и соответствующих проектов.

В целях профилактики химического загрязнения окружающей среды необходимы качественные и количественные прогнозы следующих процессов: 1) проникновения нефти, а также попутных соленых вод и рассолов (частично содержащих нефтяные вещества и химические реагенты) в водоносные горизонты с пресными, лечебными минеральными подземными водами; 2) попадания нефти и попутных соленых вод и рассолов (с химреагентами в том числе) на растительный покров, в почвы, техногеосферу, водоемы, верхние водоносные (с пресными водами) горизонты земной коры через выбросы и сливы, неконтролируемые "порывы" — из скважин, емкостей и промысловых трубопроводов.

Прогнозная оценка техногенных процессов, ведущих к химическому загрязнению геологической и окружающей среды в целом, должна базироваться существенно на гидрогеологических и инженерно-геологических данных. Поэтому крайне необходимо гидрогеологическое изучение разреза, исследование состава вод и рассолов для определения их полезных и вредных свойств, динамики водоносных горизонтов, характера пластовых давлений, выявление наличия или отсутствия так называемых аномально высоких давлений (в последнем случае отсутствие прогноза может привести к очень тяжелым последствиям). Важно также выявление защищенных водоносных горизонтов от загрязнения сверху, зависящего от распространения и характера приповерхностных водоупорных горизонтов.

Такие нарушения свойств геологической среды, как просадки земной поверхности вследствие падения пластового давления в недрах при извлечении газов и нефти и подтопления и грифенообразование вследствие искусственного повышения пластового давления, прогнозируются в первую очередь также на базе гидрогеологической характеристики разреза, газонефтеводоупорных его интервалов.

Наконец, истощение ресурсов подземных вод (пресных, минеральных, термальных) и рассолов прогнозируется по данным о полезных качествах вод и рассолов в недрах нефтяных и газовых месторождений.

Располагая аргументированными прогнозными оценками, можно целенаправленно проектировать на месторождениях профилактические меры. В целом система оптимизационных мероприятий должна включать: а) научное и методическое обоснование, б) предпроектные изыскания; в) проектные решения; г) реализацию и корректировку последних в ходе разработки месторождений (с учетом результатов дополнительных изысканий).

Для профилактики возможного химического загрязнения подземных водоносных горизонтов, залегающих над залежами нефти и газов, можно осуществить такие меры, как: 1) изоляцию соответствующих интервалов в эксплуатационных скважинах; 2) строгое соблюдение технологии бурения, добычи, сброса, дегидрации, очистки, промыслового хранения нефти (частично с попутными водами и рассолами); 3) промысловое использование (повторная закачка в нефтяные пласты) или захоронение попутных (сточных) вод и рассолов в специально выбранных пластах-приемниках (иногда использование как источника ценных минеральных веществ, выпаривание). Вторая и третья группы мероприятий обеспечивают профилактику загрязнения также водоемов, почв, растительности, техногеосферы, атмосферы.

Профилактические меры против физико-технических нарушений геологической среды, угрожающих техногеосфере, ландшафтам, почвенному покрову и т.п., заключаются в одних случаях в возмещении (или ограничении) отбора газов и жидкостей, в других — в ограничении закачек, что должно быть обосновано соответствующими расчетами.

Из числа мер по ликвидации негативных последствий разработки нефтяных и газовых месторождений следует отметить: 1) промывки (почв и т.п.), 2) очистки (водоемов) и дренажи (водоносных горизонтов), 3) искусственное пополнение запасов вод и повышение давлений в недрах, 4) рекультивацию земель. Все эти мероприятия требуют гидрогеологического и инженерно-геологического обоснования. Они должны проектироваться на базе предпроектных прогнозов до начала разработки, если по прогнозам нельзя ограничиться профилактическими мерами (т.е. эти последние недостаточны для полной оптимизации экологических следствий разработки).

Ликвидационные меры частично должны дополнительно проектироваться в ходе разработки мероприятий, если выясняется недостаточность профилактических и ликвидационных мер, запроектированных ранее.

При разработке чисто газовых месторождений отпадает нефтяное загрязнение и повышается вероятность просадок земной поверхности. Особая угроза химического загрязнения среды существует при разработке (и уже при разведке) месторождений сероводородных газов (кстати, могущих содержать также и нефтяные залежи).

Необходимо также отметить специфику разработки морских нефтя-

ных месторождений. В морских условиях возрастает масштаб угрозы загрязнения акваторий как искусственными загрязнителями (главным образом различные химические реагенты, применяемые при бурении и эксплуатации скважин), так и естественными (нефть, рассолы), появляющимися при неконтролируемых выбросах из скважин и грифонообразовании на дне водоема. Суть профилактики в этих условиях заключается в очень строгом соблюдении технологии буровых и эксплуатационных работ. Большую роль для проектирования соответствующей технологии могут играть максимально точные прогнозы давлений в горизонтах, вскрываемых скважинами. Ликвидационные мероприятия состоят главным образом в очистке морских вод от нефтяного вещества.

В заключение следует отметить наличие связи между охраной окружающей среды при разработке месторождений нефти и газов и максимальным извлечением нефти или газа из пластов. Повышение степени извлечения полезных ископаемых может влиять на изменения свойств других компонентов окружающей среды; кроме того, охрану недр саму по себе можно считать определенным аспектом охраны среды (недра — часть окружающей среды).

Актуальными научными задачами в области охраны геологической и окружающей среды при разработке месторождений нефти и газов в настоящее время являются совершенствование теории формирования техногенных процессов, методов прогнозной оценки следствий техногенных процессов и обоснования оптимизационных мероприятий, методики организации системы оптимизационных мер для всех этапов разработки нефтяных и газовых месторождений.

Серьезное внимание к перечисленным научным направлениям должно обеспечить решающее повышение уровня охраны окружающей среды и резкое снижение негативных следствий разработки месторождений нефти и газов.

Выводы

1. Окружающая среда при эксплуатации месторождений полезных ископаемых испытывает весьма существенную техногенную нагрузку, вызывая реакцию прежде всего геологической среды. Эта реакция определяет степень техногенного изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий; производственная деятельность человека в области горнодобывающей промышленности по своим масштабам и степени воздействия стала соизмеримой с природными геологическими процессами.

2. При техногенном преобразовании литосферы главным объектом изучения являются техногенные процессы, формирующиеся под влиянием тепло- и энергообмена; в своей совокупности техногенные процессы образуют техногенез горнодобывающего профиля. Негативное или позитивное влияние техногенеза характеризуется изменением состояния и свойств прежде всего геологической среды; при этом коренное эволюционное преобразование литосферы приводит к качественно новому ее состоянию — техногеосфере.

3. Оценивая современное состояние и степень изученности рассматриваемой проблемы, необходимо отметить следующее: а) требуется всесторонняя координация комплексных исследований на различных стадиях изучения месторождений полезных ископаемых, особенно на стадии их разведки; б) необходимо разработать научные основы единой методологии проведения гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на месторождениях полезных ископаемых, учитывающие современные требования по охране, защите и рациональному использованию геологической и окружающей среды в целом.

4. Важным разделом рассматриваемой проблемы является прогнозная оценка развития техногенных процессов, а также снижение степени негативного влияния техногенеза на изменение свойств геологической среды; в связи с этим в гидрогеологии и инженерной геологии возникает необходимость разработать общие научно-методические основы формирования техногенеза, техногенных процессов и методы их прогноза.

5. Целесообразно провести обобщение и анализ опыта эксплуатации месторождений полезных ископаемых в нашей стране, оценить степень влияния эксплуатации на изменение свойств геологической среды на конкретных объектах с последующим совершенствованием методики техногенных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в стадию промышленного освоения месторождений.

6. Учитывая важность целенаправленных предпроектных разработок по рациональному освоению месторождений полезных ископаемых и геологической среды, необходимо коренным образом повысить качество, достоверность и ответственность гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в стадию их разведки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Защита окружающей среды при горных разработках рудных месторождений / Под ред. В.Т. Трофимова // Современные проблемы биосферы. М.: Наука, 1985. С. 196.
2. Плотников Н.И., Краевский С. Гидрогеологические аспекты охраны окружающей среды. М.: Недра, 1983. 208 с.
3. Ломтадзе В.Д. Охрана геологической среды при разработке месторождений полезных ископаемых // Зап. ЛГУ. 1984. Т. 160. С. 3—16.
4. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. Л.: Недра, 1986. 286 с.
5. Ломтадзе В.Д., Чехидзе Д.В. Инженерно-геологические основы рационального использования геологической среды и ее охрана при разработке месторождений полезных ископаемых // Докл. 27-го Междунар. геол. конгр. Секция С-17. М.: Наука, 1984. С. 28—34.
6. Плотников Н.И., Карцев А.А. Управление техногенными гидрогеологическими процессами как основа охраны экосистем // Материалы 27-го Междунар. геол. конгр. М.: Наука, 1984. Т. 16: Гидрогеология. С. 113—118.
7. Сергеев Е.М. Инженерная геология и охрана окружающей среды // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. 1979. № 6. С. 75—85.
8. Карцев А.А., Плотников Н.И. Гидрогеологические системы и их роль в эволюционном преобразовании литосферы // Подземные воды в эволюции литосферы. М.: Наука, 1984. Т. 1. С. 84—91.
9. Израель Ю.М. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеоиздат, 1984. 470 с.

*Л.С. Язин, Б.В. Боревский, И.К. Гавич,
К.И. Сычев, М.А. Хордикайнен*

Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при эксплуатации водозаборов пресных подземных вод

Подземные воды являются одним из основных компонентов геологической среды, тесно связанным как с другими ее компонентами, так и с отдельными элементами природной среды в целом. Вот почему эксплуатация подземных вод многочисленными водозаборными сооружениями не только приводит к изменению собственно гидрогеологических условий отдельных регионов, но и оказывает существенное влияние на изменение общей природной обстановки. Поэтому изучение изменений природной среды в целом и геологической среды в частности, связанных с воздействием отбора подземных вод водозаборными сооружениями, является одной из основных задач геологической службы.

К основным последствиям эксплуатации подземных вод, связанным со снижением уровня в продуктивном (эксплуатируемом) водоносном горизонте, относятся:

изменение режима и баланса подземных вод эксплуатируемых и смежных с ними водоносных горизонтов — формирование обширных воронок депрессии, изменение направления движения подземного потока, превращение областей разгрузки в области питания, изменение качества подземных вод по площади и в разрезе. Изменение условий питания и разгрузки может привести и приводит к истощению подземных вод или (и) истощению их эксплуатационных запасов;

снижение уровня грунтовых вод и связанные с этим процессом изменения ландшафтных условий, сопровождающиеся такими негативными явлениями, как угнетение или даже гибель растительности, переосушение сельскохозяйственных земель, вызванные изменением влажности в зоне аэрации и влагооборота в почвогрунтах. Эти процессы приводят также к исчезновению болот, осушению колодцев, сокращению или полному прекращению родникового стока. С другой стороны, снижение уровня грунтовых вод способствует усилению питания подземных вод путем сокращения испарения с их уровня, а также позволяет улучшить мелиоративное состояние земель (мелиоративный эффект) и уменьшить водопритоки к разрабатываемым месторождениям твердых полезных ископаемых;

уменьшение или даже периодическое прекращение стока рек за счет сокращения естественной разгрузки, а также изъятия части транзитного стока, обмеление озер. При этом наблюдается сокращение живого сечения реки (глубины и ширины) или площади водоема; просадка земной поверхности, связанная с процессами вто-

ричной консолидации осущенных пород и депрессионным уплотнением песчано-глинистых толщ при снижении пластового давления;

интенсификация суффозионно-карстовых процессов, изменение фильтрационных параметров водовмещающих отложений.

Прежде чем перейти к рассмотрению выделенных процессов, кратко охарактеризуем современное состояние отбора подземных вод на территории страны. В настоящее время подземные воды широко используются в народном хозяйстве Советского Союза для водоснабжения, орошения земель и обводнения пастбищ, а также для лечебных целей (минеральные воды), как сырье для извлечения ценных компонентов (промышленные воды) и для теплофикации (термальные воды). Несомненно, наиболее существенное влияние на изменение геологической среды оказывает отбор пресных подземных вод, которые на современном этапе являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения населения страны. Это объясняется рядом преимуществ, которые имеют подземные воды перед поверхностными в качестве источника питьевого водоснабжения, в первую очередь их лучшей защищенностью от загрязнения. В связи с этим в СССР, как и во многих других странах, значительно увеличилось использование подземных вод для питьевого водоснабжения. Если в начале 50-х годов доля подземных вод в коммунальном водоснабжении не превышала 10—15%, то в настоящее время большая часть городов страны удовлетворяет свои потребности в воде питьевого качества за счет подземных источников. На подземных водах основано водоснабжение большинства городов Советской Прибалтики, Белоруссии, Армении, Грузии, Таджикистана, Центральной части Европейской территории РСФСР, северных районов Украины, Узбекистана. В последние годы значительно увеличился отбор подземных вод в Сибири и на Дальнем Востоке, где они играют существенную роль в водоснабжении ряда краевых и областных центров и крупных промышленных районов. Использование подземных вод в коммунальном водоснабжении за последние 25 лет увеличилось более чем в 2,5 раза. В настоящее время общий отбор подземных вод для питьевого водоснабжения составил около $700 \text{ м}^3/\text{с}$. Еще порядка $200 \text{ м}^3/\text{с}$ используется для производственно-технического водоснабжения [1]. Значительно увеличился отбор подземных вод и для орошения земель, главным образом в южных аридных районах страны (Средняя Азия, Закавказье, Южный Казахстан, Северный Кавказ). Использование подземных вод для этих целей оценивается величиной порядка $300 \text{ м}^3/\text{с}$ [1].

Увеличение отбора подземных вод сопровождалось его концентрацией (увеличением отбора с единицы площади). Значительно увеличилось количество крупных централизованных водозаборов, дебиты которых составляют сотни литров, а иногда и кубические метры в секунду. Резкое увеличение отбора подземных вод и его концентрация привели к необходимости изучения и оценки изменений природной (в том числе и геологической) среды под влиянием этих факторов.

Следует отметить, что проявление тех или иных изменений природной среды и масштабы этих изменений в процессе эксплуатации

водозаборных сооружений во многом определяются гидрогеологическими условиями, в которых происходит отбор подземных вод. С этой точки зрения можно выделить пять основных типов гидрогеологических условий, различающихся последствиями эксплуатации подземных вод [2].

К первому типу относятся гидрогеологические условия, характеризующиеся эксплуатацией глубокозалегающих водоносных горизонтов, перекрытых слабопроницаемыми или практически водоупорными породами мощностью несколько десятков метров, в артезианских бассейнах платформенного типа. Эксплуатация подземных вод здесь происходит при неустановившемся режиме. В процессе эксплуатации формируются крупные воронки депрессии, площади которых достигают десятков тысяч квадратных километров, а понижение уровня в центре депрессии — 100 м и более. Отмечается подтягивание контуров соленых подземных вод, а в районах морских побережий — и интрузия морских вод.

Как правило, эксплуатация водозаборных сооружений в рассматриваемых условиях не оказывает существенного влияния на изменение составляющих питания и разгрузки вышележащих водоносных горизонтов. В то же время изменение давления в процессе снижения уровня подземных вод на эксплуатируемые отложения, а также на вышележащие слабопроницаемые глинистые породы приводит к вторичной консолидации последних, что вызывает в ряде случаев оседание земной поверхности.

К второму типу можно отнести гидрогеологические условия, в которых отбор подземных вод осуществляется главным образом из неглубоко залегающих напорных водоносных горизонтов, хорошо связанных с вышележащими водоносными горизонтами через "гидрогеологические окна" или слабопроницаемые отложения. В этих условиях основным источником формирования эксплуатационных запасов подземных вод являются ресурсы смежных водоносных горизонтов, поступающие в эксплуатируемый пласт. В отличие от гидрогеологических условий первого типа в этих случаях эксплуатация подземных вод при постоянном расходе происходит при режиме, близком к установленному. Здесь формируются воронки депрессии меньшей площади (сотни квадратных километров) и меньшей глубины (до 50—60 м). Эксплуатация водозаборов подземных вод в рассматриваемых условиях приводит к достаточно существенным изменениям баланса подземных вод как эксплуатируемого, так и смежных водоносных горизонтов. Если в естественных условиях, как правило, происходила разгрузка подземных вод нижележащих напорных горизонтов в вышележащие грунтовые, то при эксплуатации происходит изменение соотношения уровней и перетекание подземных вод из грунтовых горизонтов в напорные. Это приводит к снижению уровня в смежных грунтовых водоносных горизонтах с изменением условий разгрузки грунтовых вод, в том числе и путем испарения с их уровня. В связи с этим в рассматриваемых условиях возможно осушение болот, угнетение растительности и другие изменения общих ландшафтных условий.

К третьему типу следует отнести условия, характеризуемые эксплуатацией водоносных горизонтов, воды которых имеют активную гидравлическую связь с постоянно действующими крупными реками, с расходом, значительно превышающим дебит водозаборных сооружений. В этих случаях основным источником формирования эксплуатационных запасов являются привлекаемые ресурсы (поверхностный сток) и частично естественные ресурсы подземных вод, разгрузка которых в ненарушенных условиях происходит либо в реку, либо путем испарения. Здесь формируются весьма небольшие депрессионные воронки (радиусом несколько километров и глубиной 20—30 м) при стабильном режиме фильтрации. Эксплуатация водозаборных сооружений в условиях этого типа сказывается главным образом на поверхностном стоке, так как на 90—95% расход водозабора формируется за счет привлечения поверхностных вод и прекращения подземного питания рек. Однако, так как дебит водозабора обычно существенно меньше, чем расход реки, каких-либо значительных изменений поверхностного стока при этом не происходит. В то же время существенное изменение может испытывать качество подземных вод (происходит опреснение вод, их обезжелечивание, а в отдельных случаях и их загрязнение).

К четвертому типу относятся также условия, характеризуемые эксплуатацией водоносного горизонта, связанного с поверхностными водами. Однако в отличие от третьего типа либо расходы поверхностных водотоков в определенные периоды времени соизмеримы с расходами водозабора, либо эти водотоки замерзают или пересыхают, либо отмечается затрудненная связь поверхностных и подземных вод. Для этих условий характерно периодическое осушение эксплуатируемого или вышележащего горизонта в меженные периоды, которые могут сопровождаться исчезновением озер, родников, осушением болот и т.д. В этот период возможно полное прекращение стока на отдельных участках реки. В паводки происходит восполнение сработанных запасов подземных вод.

К пятому типу относятся гидрогеологические условия, характеризуемые наличием ограниченных по площади структур и массивов горных пород, основной особенностью которых является практическая замкнутость баланса подземных вод в пределах рассматриваемой структуры. В зависимости от расхода водозабора, режима эксплуатации и расположения водозабора относительно контуров разгрузки подземных вод в формировании эксплуатационных запасов подземных вод в этих условиях основную роль играет либо перехват естественной разгрузки (естественные ресурсы), либо наряду с этим процессом и сработка естественных (емкостных) запасов подземных вод. В обоих случаях сокращение или уменьшение разгрузки подземных вод может привести к изменению окружающей среды (высыхание болот, уменьшение поверхностного стока, сокращение транспирации растительностью и т.д.). Такое последствие отбора подземных вод, как активизация карстово-суффозионных процессов, возможно в любом типе гидрогеологических условий при наличии карбонатных закарстованных водовмещающих пород.

Таким образом, возможные изменения тех или иных компонентов природной среды при эксплуатации водозаборных сооружений и масштабы этих изменений определяются гидрогеологическими условиями, что необходимо учитывать при изучении этих процессов. Следует отметить, что до последнего времени каких-либо целенаправленных научно-исследовательских и обобщающих работ по оценке возможных изменений геологической среды под воздействием эксплуатации подземных вод практически не проводилось. Исключительно слабо поставлены наблюдения за режимом отдельных компонентов природной (в том числе и геологической) среды в процессе эксплуатации водозаборов подземных вод. При этом, если наблюдения за расходами водозаборных сооружений, уровнями подземных вод и содержанием в них некоторых компонентов в явно недостаточном количестве, но все же имеются, то наблюдений за изменением поверхностного стока, положением поверхности земли, развитием карстовых процессов, изменением ландшафта и т.д., по существу, почти не проводится.

Очевидно, одной из первых работ, посвященных анализу влияния эксплуатации водозаборов на гидрогеологические условия территории СССР, была работа М.А. Хордикайнена и Л.С. Язвина [2], проанализировавших имеющийся по этому вопросу материал на середину 70-х годов. На основании анализа имеющихся данных авторы пришли к выводу, что эксплуатация водозаборов подземных вод не отразилась сколь-нибудь существенно на гидрогеологических условиях большей части территории СССР, за исключением ряда районов интенсивной эксплуатации подземных вод в Европейской части СССР. В то же время указывалось, что в отдельных районах страны отмечаются негативные изменения природной среды, связанные с отбором подземных вод, и был сделан вывод о том, что в связи с увеличением отбора подземных вод резко увеличится его влияние на окружающую среду.

Следует отметить, что при подготовке указанной работы авторы использовали материалы по отдельным водозаборам, так как целенаправленных исследований по сбору и анализу фактического материала по всей стране или отдельным ее регионам к тому времени организовано не было.

Первые целенаправленные исследования по оценке влияния отбора подземных вод на гидросферу на Европейской территории СССР, были проведены гидрогеологической службой Министерства геологии СССР под руководством ВСЕГИНГЕО в середине 80-х годов. Эти работы показали крайнюю ограниченность фактического материала для оценки интенсивности влияния отбора подземных вод на окружающую среду. Тем не менее имеющийся материал позволил подтвердить сделанный ранее вывод об усилении влияния отбора подземных вод на окружающую среду, а также выделить районы, где такие изменения происходят наиболее интенсивно.

Рассмотрим сначала гидрогеологические последствия интенсивного отбора подземных вод. Одним из крупных регионов, характеризуемых наиболее интенсивным изменением гидрогеосферы под влиянием отбора

подземных вод, является центральная часть Московского артезианского бассейна. Наибольшая эксплуатационная нагрузка здесь приходится на центральную часть Московской области, где модуль эксплуатационного водозабора превышает $1,2 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$. Здесь эксплуатируются водоносные горизонты верхнего, среднего и нижнего карбона. В рассматриваемом регионе сформировалась обширная воронка депрессии, площадь которой достигает 50 тыс. км^2 , а суммарный отбор подземных вод превышает $35 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальное понижение уровня достигает 120 м (в Окско-Протвинском горизонте), а в других горизонтах составляет 60—70 м.

Эксплуатация подземных вод в центральной части Московского артезианского бассейна сопровождается их истощением, что и планировалось при оценке их эксплуатационных запасов. Однако на ряде водозаборов происходит и истощение эксплуатационных запасов подземных вод¹. Это связано с отбором подземных вод в количестве, превышающем их эксплуатационные запасы. На ряде водозаборов отмечается также ухудшение качества воды, связанное с перетеканием некондиционных вод из вышележащих водоносных горизонтов. Отбор подземных вод вызвал также активизацию карстовых процессов, чему способствовало, в частности, перетекание горячих вод, сформировавшихся в грунтовом водоносном горизонте в связи с утечками из водопроводных сетей. Активизация карстовых процессов привела к образованию провальных воронок, вызвавших разрушение отдельных инженерных сооружений.

Крупные депрессионные воронки под влиянием работы централизованных водозаборов подземных вод сформировались в Днепрово-Донецком и юго-западной части Московского артезианских бассейнов. Депрессионная воронка, сформировавшаяся в меловых водоносных горизонтах Днепрово-Донецкого бассейна, является одной из крупнейших воронок в Советском Союзе, ее площадь достигает 100 тыс. км^2 , а максимальное понижение превышает 100—120 м [2]. Формированию этой воронки способствовало также действие ряда водопонизительных установок в районе Курской магнитной аномалии. Модуль эксплуатационного водоотбора здесь составляет $0,5\text{--}1,0 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$. Обширные воронки создались и в краевой части бассейна в районе г. Киева, где отбор подземных вод в количестве около $6 \text{ м}^3/\text{с}$ привел к образованию двух депрессий: в сеноманском горизонте площадью 9 тыс. км^2 и понижением около 80 м и в юрском горизонте площадью 16 тыс. км^2 и понижением 90 м. Модуль эксплуатационного водоотбора составляет здесь от 0,1—0,5 до 1—2 $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$.

В юго-западной части Московского артезианского бассейна в

¹ В настоящей работе различаются понятия "истощение подземных вод" и "истощение эксплуатационных запасов подземных вод" [8]. Под истощением подземных вод понимается любое уменьшение их емкостных запасов, связанное с превышением расходования подземных вод над их питанием. К истощению эксплуатационных запасов на водозаборных участках следует относить случаи, когда темпы падения уровня подземных вод превосходят темпы, установленные при оценке их эксплуатационных запасов.

верхнедевонском водоносном комплексе образовалась депрессионная воронка вследствие работы водозаборов в Брянской и Орловской областях. Площадь этой воронки около 40 тыс. км², отбор подземных вод составляет более 5 м³/с, максимальные понижения достигают 65—80 м.

Из других значительных по площади депрессий отметим ряд крупных воронок в Прибалтийском, Равнинно-Крымском, Азово-Кубанском, Мордовском артезианских бассейнах.

В районе г. Риги в результате отбора подземных вод образовалась крупная депрессионная воронка общей площадью свыше 5 тыс. км² в водоносном комплексе среднего и верхнего девона. Модуль эксплуатационного водоотбора здесь составляет 0,5—1,0 л/(с·км²). Эксплуатация девонского комплекса на отдельных участках привела к осушению вышележащего четвертичного горизонта.

Три обширных депрессионных воронки образовались в Литовской ССР под влиянием работы централизованных водозаборов — в западной части республики в верхнедевонско-верхнепермском комплексе с отбором около 1,2 м³/с при понижении уровня 80—90 м и площадью депрессии в пределах суши около 8 тыс. км²; в верхнедевонском горизонте в районе г. Шауляй при отборе 0,6 м³/с с понижением в центре водозабора 60 м и площадью депрессии около 5 тыс. км²; в среднедевонском водоносном комплексе в районе г. Паневежиса, где общий отбор составляет около 0,7 м³/с, понижение уровня 55 м, а площадь воронки 4,5 тыс. км². Во всех перечисленных районах модуль эксплуатационного водоотбора составляет 0,1—0,5 л/(с·км²).

В равнинном Крыму многолетний усиленный отбор подземных вод главным образом для орошения, значительно превышающий эксплуатационные ресурсы подземных вод, привел к коренной перестройке гидрогеологических условий. Интенсивный отбор подземных вод, максимум которого в 1974—1975 г. превышал 20 м³/с, привел к образованию региональных депрессий в миоценовых водоносных горизонтах, вторжению соленых морских вод в водоносные горизонты, перетеканию солоноватых вод из незэксплуатируемых водоносных горизонтов в эксплуатируемые, что, в свою очередь, вызвало изменение качества вод эксплуатируемого горизонта. Так, в районе Красноперекопска минерализация подземных вод в миоценовых водоносных горизонтах с 1964 по 1975 г. возросла с 0,5 до 5,5 г/л. В связи с принятыми в регионе мерами по уменьшению отбора подземных вод и искусственноному пополнению запасов гидрогеологическая обстановка здесь несколько улучшилась.

Крупные депрессионные воронки в связи с отбором подземных вод для водоснабжения сформировались в Азово-Кубанском бассейне (радиус около 40 км, понижение порядка 60 м), в Мордовском бассейне (площадь 4,5 тыс. км², понижение около 70 м). В этих районах модули эксплуатационного водоотбора составляют 1—2 л/с. В азиатской части страны крупные депрессионные воронки сформировались в Иртышском, Сырдарьинском, Мангышлакском артезианских бассейнах.

Переходим к краткой характеристике изменений других компонентов природной (в том числе геологической) среды. Отбор подземных вод из грунтовых водоносных горизонтов, а также из напорных горизонтов, связанных с грунтовыми, во многих случаях приводит к снижению уровня грунтовых вод, увеличению мощности и снижению влажности зоны аэрации, что сказывается на изменении общих ландшафтных условий и в первую очередь на условии произрастания растительности. К сожалению, в настоящее время, по существу, отсутствуют исследования влияния положения уровня подземных вод на различные виды растительности в различных природных условиях. Очень мало имеется и непосредственных наблюдений за изменением ландшафтных условий в районах эксплуатации подземных вод. Тем не менее имеющийся материал говорит о том, что снижение уровня подземных вод в районах их эксплуатации в определенных условиях приводит к угнетению и гибели растительности, хотя эти факты отмечаются не очень часто и на достаточно ограниченных участках. В качестве примера влияния эксплуатации подземных вод на изменение растительности можно привести долину р. Северский Донец, где после прекращения попусков в маловодный период в связи с осушением аллювия наблюдалось исчезновение пойменных, старицких озер и высыхание лесов. Известен пример Айдосского водозабора в Центральном Казахстане, где при работе водозабора с производительностью 800 л/с произошло отмирание гидрофитов и ухудшение габитуса фреатофитов на участке долины длиной 4 км [3]. Изменение растительности в связи с эксплуатацией подземных вод было зафиксировано в районах Краснодара, Минска и ряде других.

Существенное влияние, как уже отмечалось, отбор подземных вод оказывает на поверхностный сток, особенно при эксплуатации подземных вод в гидрологических условиях четвертого и пятого типов, когда эксплуатация подземных вод приводит к уменьшению поверхностного стока. Однако влияние отбора подземных вод на изменение поверхностного стока не является однозначным, и могут наблюдаться случаи, когда при эксплуатации подземных вод не происходит уменьшения поверхностного стока, а даже фиксируется его некоторое увеличение.

Проведенные в минувшей пятилетке специальные исследования по бассейнам малых рек и в том числе непосредственные наблюдения за поверхностным стоком в районах отбора подземных вод показали, что в большинстве районов страны существенного изменения поверхностного стока при эксплуатации подземных вод не наблюдается. Это объясняется несколькими обстоятельствами. Во-первых, необходимо учитывать, что водоносные горизонты во многих случаях обладают значительной регулирующей емкостью, в связи с чем влияние отбора подземных вод при расположении водозаборов на расстоянии нескольких сотен метров от реки может сказаться только через многие годы после начала эксплуатации. Во-вторых, сброс вод в реку после их использования происходит во многих случаях на тех же участках реки, что и их отбор, и в этих случаях, если в формировании сточных вод принимают участие подземные воды, в естественных

условиях не разгружавшиеся в реку (воды глубоких напорных горизонтов либо воды, разгрузка которых проходила путем испарения), может произойти увеличение поверхностного стока. И, наконец, очень важным является то обстоятельство, что не только в аридных, но и в гумидных районах существенная часть подземных вод разгружается не в реку, а путем испарения с их уровня на участках неглубокого залегания уровня подземных вод. Снижение уровня вод при эксплуатации приводит при этом к сокращению или прекращению испарения, что существенно уменьшает влияние отбора подземных вод на поверхностный сток. Тем не менее имеющиеся данные показывают, что в ряде районов, где подземные воды эксплуатируются в долинах малых рек, особенно в верхних частях этих долин, эксплуатация подземных вод может привести к полному прекращению поверхностного стока на участке реки в течение меженного периода. В связи с этим вопросы возможного изменения поверхностного стока должны исследоваться в каждом конкретном случае с учетом приведенных соображений.

Возможные изменения подземного питания рек в связи с эксплуатацией подземных вод в Мещерской низменности анализировались в Государственном гидрологическом институте [3]. Проведенные исследования показали, что в результате эксплуатации подземных вод модуль подземного питания рек уменьшился на 50%, а норма общего стока рек, попавших в пределы депрессионной воронки, уменьшилась на 20%.

Изменения поверхностного стока различного знака отмечаются в долинах рек Московской области. Так, на 10—30% уменьшился сток рек Нары, Пахры, Лопасни, Десны, Северки, Клязьмы (выше Ногинска и Электростали) и ряда других. В то же время увеличился сток рек Вори, Вели, Моловчи, Клязьмы (ниже Ногинска и Электростали).

Существенно повлиял на сток малых рек Предкарпатья отбор подземных вод для водоснабжения г. Львова. Интенсивная эксплуатация подземных вод привела к практически полному поглощению меженного стока малых рек года 50%-ной обеспеченности.

Как уже отмечалось, определенное влияние отбор подземных вод оказывает на оседание земной поверхности. Динамика развития оседания при отборе подземных вод определяется рядом факторов — интенсивностью водоотбора, величиной снижения напора, геологическим строением района, мощностью сжимаемых пород, степенью их первичной консолидации. Наиболее интенсивные оседания отмечаются в молодых несцементированных или полуцементированных, недокументированных отложениях с большой пористостью. Нужно отметить, что отсутствие целенаправленных наблюдений за процессами оседания в СССР не позволяет дать достаточно полную их характеристику, однако имеющиеся данные говорят о необходимости учета этих последствий интенсивного водоотбора.

Так, в районе г. Таллина многолетний отбор подземных вод привел к оседанию поверхности земли, в частности, на площадях развития погребенных долин в четвертичных отложениях, при эксплуатации протерозойско-нижнекембрийского водоносного комплекса.

Наибольшая интенсивность оседания наблюдается в приустьевых частях погребенных долин, где скорость оседания составляет 0,8 см/год. Наиболее интенсивное оседание отмечено в Центральной погребенной долине, где оно с начала века составило 0,68 м [4].

В Риге вследствие отбора подземных вод, снижения их уровня земная поверхность понижается на 2-3 мм в год. В Ленинграде под влиянием депрессии напора подземных вод в гдовском горизонте земная поверхность опускается со скоростью 1,4 мм в год.

Следует отметить, что в СССР не наблюдалось таких интенсивных оседаний поверхности земли в связи с отбором подземных вод, как в ряде городов Мексики, Японии, США, где максимальное оседание достигает нескольких метров, однако изучение этих процессов и их прогноз в определенных гидрогеологических условиях является весьма важной задачей.

Эксплуатация подземных вод трещинно-карстовых водоносных горизонтов часто приводит и к активизации карстово-суффозионных процессов. На участках, где карстующиеся породы перекрыты несцементированными песчано-глинистыми отложениями, отбор подземных вод способствует образованию провальных воронок и деформации земной поверхности. Провальные явления могут быть связаны с выносом в результате механической суффозии твердых частиц породы по трещинам из карстовых полостей, заполненных вторичными образованиями; механический вынос песчано-глинистых пород может происходить и из перекрывающих карстующиеся породы пластов. Усиление карстообразования связано с расширением существующих трещин и карстовых полостей за счет растворения карбонатных пород при усилении скорости движения подземных вод и поступлении в пласт вод с повышенной растворяющей способностью из современных областей питания. Примером района с резким усилением карстово-суффозионных процессов под влиянием работы водозаборов является долина р. Малый Рефт на Урале, где эксплуатационные скважины были пробурены слишком близко от русла (20—30 м) и в результате больших градиентов потока в русле образовались провалы, а весь мелкозем был привлечен к эксплуатационным скважинам. На Янгельском водозаборе на Урале в низких частях бортов долины под влиянием работы водозабора образовались карстовые воронки, и в паводок вода с высокой мутностью и высоким содержанием бактерий попадала в скважины. Выше уже упоминалось об активизации карстовых процессов на территории Московского артезианского бассейна. Интенсивное карстообразование отмечается при эксплуатации подземных вод карбонатных пород ордовика — силура в Северной Эстонии.

Приведенная краткая характеристика влияния отбора подземных вод на изменение отдельных компонентов природной среды показывает, что при определении перспектив использования подземных вод необходимо учитывать возможные природоохраные ограничения. Это предъявляет новые требования к оценке эксплуатационных запасов подземных вод и методике их разведки. Как известно, разведочные работы на месторождениях подземных вод направлены на получение комплекса исходных данных для построения гидрогеологических моде-

лей условий формирования эксплуатационных запасов подземных вод, позволяющих выполнить их комплексную и всестороннюю оценку, учитывающую целевое назначение работ. В свете современных требований [5] оценка эксплуатационных запасов подземных вод не ограничивается расчетом производительности водозаборов и прогнозированием возможных изменений качества воды, а включает комплекс вопросов, связанных с промышленным освоением месторождения. Одним из таких вопросов, наиболее ответственным и наименее разработанным с точки зрения учета экологического и экономического риска от последствий принятия решения, является оценка влияния эксплуатации на окружающую среду. До недавнего времени рассмотренные выше последствия отбора подземных вод при оценке их эксплуатационных запасов практически не учитывались. Между тем необходимость учета влияния может приводить к существенным изменениям схемы водозабора, ограничению водоотбора и даже отказу от использования подземных вод. В связи с этим требует уточнения и само понятие "эксплуатационные запасы подземных вод", в формулировке которого должны найти отражение природоохранные ограничения, а также методика проведения разведочных работ и оценка эксплуатационных запасов. Отметим, что в соответствии с требованиями "Классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод" [5] материалы подсчета запасов должны включать в себя оценку влияния намечаемого водозабора за расчетный период водопотребления на существующие водозаборы, а также на поверхностные водные источники, экологические и другие природные условия данного района.

Для выполнения этого требования в процессе гидрогеологических исследований должна быть получена соответствующая исходная гидрогеологическая и инженерно-геологическая информация для обоснованных оценок и прогнозирования изменений гидрогеологических условий, которые могут оказать влияние на различные компоненты природной среды.

Методика инженерного прогнозирования масштабов перечисленных в начале настоящей статьи последствий отбора подземных вод разработана явно недостаточно, как и требования к гидрогеологическим исследованиям, которые следует проводить для решения указанных задач.

Необходимость инженерного прогнозирования явлений и процессов, связанных с влиянием отбора на окружающую среду, требует поиска оптимальных вариантов прогноза работы водозаборов подземных вод. "Инженерный запас" в расчетах, который приводит к неоправданно большому и не оцениваемому количественно завышению расчетных понижений, может привести к прямо противоположным результатам в отношении факторов влияния на окружающую среду (завышение "мелиоративного эффекта" или занижение величины снижения уровня грунтовых вод, занижение уменьшения поверхностного стока). Это требует изучения и учета всех факторов, определяющих режим работы водозаборных сооружений. В связи с отмеченным при расчете водозаборных сооружений в расчетных схемах должны учитываться

все источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод и другие факторы, определяющие режим работы водозаборов независимо от степени достоверности их изученности.

Различная степень детальности и достоверности изученности различных факторов и источников формирования эксплуатационных запасов должна учитываться только при их категоризации. В случаях решения задач, связанных с оценкой влияния водоотбора на различные компоненты окружающей среды, использование при расчетах так называемых обобщенных параметров в принципе недопустимо, если они несут в себе информацию не только о параметрах водоемывающих пород, но и об источниках формирования эксплуатационных запасов подземных вод.

Гидрогеологические модели месторождений подземных вод должны быть построены таким образом, чтобы по возможности обеспечивать как расчет самого водозабора, так и прогноз изменения гидрогеологических условий под влиянием отбора подземных вод. При этом следует учитывать, что жесткая схематизация, вполне приемлемая для расчета водозаборов, может оказаться совершенно неприемлемой для оценки влияния водозабора на окружающую среду.

В связи с изложенным повышаются требования как к достоверности гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод, включая природоохранные аспекты, так и к исходной информации, используемой для таких прогнозов.

С необходимостью решения по результатам разведочных работ природоохранных задач связано, как уже указывалось, уточнение требований к составу, методике и объему гидрогеологических исследований, выполняемых при разведке подземных вод. В целом объемы работ и стоимость изысканий при этом возрастают. Учет при оценке эксплуатационных запасов природоохранных задач может привести и к изменению группы по сложности гидрогеологических условий и прогнозных ресурсов в соответствии с "Классификацией эксплуатационных запасов подземных вод", к которой должно быть отнесено то или иное месторождение.

В связи с изложенным уже при постановке исследований должны быть сформулированы требования к природоохранным ограничениям, что в настоящее время делается только для определения возможных изменений поверхностного стока, да и то принимаемые ограничения не имеют необходимого научного обоснования.

Проведение любых дополнительных исследований следует осуществлять только в тех случаях, когда предварительные оценки и приближенные расчеты показывают, что масштабы изменений природной среды могут иметь существенное значение. Для этого полезно предварительное решение рассматриваемых задач на моделях, приближенных к реальной природной обстановке.

В связи с тем, что в большинстве случаев возможные масштабы возмущений при опытных работах в процессе эксплуатации и при разведке несоизмеримы как по интенсивности, так и по продолжительности воздействия, основным методом решения природоохранных задач там, где это возможно, должен стать метод аналогии.

Для использования этого метода особое внимание при гидрогеологических исследованиях должно быть уделено обоснованию аналогичности тех факторов, которые являются определяющими в процессах влияния отбора подземных вод на окружающую среду.

Все исследования, выполняемые непосредственно на разведемых месторождениях подземных вод, можно разделить на две группы [6]:

направленные на прямую оценку предполагаемых изменений (например, снижение уровня грунтовых вод);

направленные на получение исходной информации для проведения прогнозных расчетов.

К первой группе относятся мощные опытные откачки в режиме и с расходами, соответствующими условиям эксплуатационного водоотбора. Целесообразность таких работ должна быть тщательно обоснована доказательством возможности получения искомых результатов в процессе разведочных работ.

Ко второй группе относятся полевые и лабораторные исследования, направленные на параметрическое обоснование прогнозных моделей. Состав работ при разведке определяется необходимостью решения той или иной задачи. Так, для изучения возможных изменений поверхностного стока необходимо оценить разгрузку подземных вод испарением и параметры взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Кроме того, следует изучить факторы, определяющие изменение условий взаимосвязи во времени. Для оценки возможного снижения уровня грунтовых вод должны быть детально изучены условия взаимосвязи грунтовых и напорных вод, а также особенности инфильтрации на уровень грунтовых вод и испарения с этого уровня. В ответственных случаях следует проводить мощные опытные откачки, имитирующие условия эксплуатации.

Прогнозы оседания поверхности должны базироваться на изучении комплекса физико-механических свойств горных пород, а также на данных непосредственных наблюдений за осадкой.

Исследование карстово-суффозионных процессов требует дополнительного изучения при откачках выноса твердого и карбонатного стока, детального изучения карбонатной системы подземных вод, в том числе изотопов углерода. По получаемым данным и их сопоставлению с данными по водозабору-аналогу можно оценить возможность и интенсивность развития суффозионно-карстового процесса.

При отсутствии водозаборов-аналогов перспективным является создание в типовых условиях специальных опытных полигонов и проведение на них комплекса специальных гидрогеологических исследований. Весьма перспективен также одновременный мониторинг всех процессов, сопровождающих отбор подземных вод в районах интенсивно эксплуатируемых месторождений, при этом наблюдения должны вестись как за гидрогеологическими и инженерно-геологическими факторами и процессами, так и за состоянием земной поверхности, изменениями поверхностного стока, растительностью и другими компонентами природной среды.

Типизация месторождений подземных вод по условиям формирова-

ния эксплуатационных запасов [6] и приведенная в настоящей статье типизация гидрогеологических условий по возможным последствиям отбора подземных вод позволяет предварительно уже при проектировании полевых работ выделить основные факторы, подлежащие изучению для прогноза возможного влияния отбора подземных вод.

Несомненно, приведенные рекомендации носят самый общий, постановочный характер, и разработка методики прогноза последствий отбора подземных вод и методики гидрогеологических исследований для проведения такого прогноза является первоочередной задачей при решении рассматриваемой проблемы.

Таким образом, основные задачи изучения изменений геологической среды при эксплуатации водозаборов подземных вод можно сформулировать следующим образом:

1. Теоретическое изучение закономерностей протекания процессов, сопровождающих отбор подземных вод в различных природных условиях (изменение ландшафтных условий, поверхностного стока, состояния земной поверхности и т.д.).

2. Изучение последствий отбора подземных вод в натурных условиях на территории СССР.

3. Разработка методики инженерного прогнозирования последствий отбора подземных вод при оценке их эксплуатационных запасов.

4. Разработка методики проведения гидрогеологических и инженерно-геологических исследований с целью получения информации для прогноза возможных последствий отбора подземных вод.

5. Разработка методики мониторинга эксплуатируемых месторождений подземных вод и состояния других компонентов природной среды, изменяющихся в процессе водоотбора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зекцер И.С., Ковалевский В.С., Язвин Л.С. Исследование ресурсов подземных вод в СССР // Вод. ресурсы. 1987. N 6. С. 27—37.
2. Хордикайнен М.А., Язвин Л.С. Влияние эксплуатации водозаборов на гидрогеологические условия территории СССР // Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности. М.: Недра, 1978. С. 13—46.
3. Гидрогеологические основы охраны подземных вод. М.: Центр междунар. проектов ГКНТ, 1984. 412 с.
4. Коноплянцев А.А., Ярцева-Попова Е.Н. Оседание поверхности земли в связи с понижением уровня подземных вод. М.: ВИЭМС, 1983. 48 с. (Гидрогеология и инж. геология: Обзор).
5. Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод // Сборник руководящих материалов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых. М.: Гос. комис. по запасам полез. ископаемых при СМ СССР (ГКЗ СССР), 1986. Т. 3. С. 91—99.
6. Боревский Б.В., Руденко Ю.Ф., Шестопалов В.М. Типизация и принципы изучения месторождений пресных подземных вод с учетом влияния их эксплуатации на окружающую среду. Киев: ИГН АН УССР, 1986. 53 с.

В.Б. Адилов, С.С. Бондаренко, Г.С. Варташян, Г.В. Куликов,
В.П. Стрепетов, А.А. Шпак

Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при эксплуатации водозаборов минеральных, термальных и промышленных подземных вод

Проблема рационального использования недр, полезных ископаемых и охраны земной коры приобретает все более актуальное значение. Рост населения, интенсификация промышленности и сельского хозяйства и научно-технический прогресс приводят к непрерывно возрастающим масштабам добычи и переработки минерального и топливно-энергетического сырья. При всех видах хозяйственной деятельности человечества ежегодно из недр Земли извлекается более 100 млрд т горной массы и подземных вод. По степени воздействия на окружающую среду процессы, связанные с добычей, переработкой и использованием различных полезных ископаемых, в том числе подземных вод, являются наиболее мощными и проявляются в виде различных негативных последствий как на поверхности Земли, так и в ее недрах, по масштабам сопоставимых с последствиями геологических процессов.

Геологическая среда, представляющая собой, согласно определению академика Е.М. Сергеева, верхнюю часть литосферы, испытывающую воздействие техногенных процессов, является важнейшим источником минерально-сырьевых ресурсов. С этой средой связаны месторождения минеральных, теплознегретических и промышленных подземных вод. Такие месторождения представляют собой пространственно ограниченные в плане и разрезе части водонапорных систем, в пределах которых под влиянием естественных или искусственных факторов создаются благоприятные условия для отбора вод в количествах, достаточных для их целевого использования в народном хозяйстве. Следовательно, сами месторождения в современном их понимании — элементы геологической среды.

Одной из основных характеристик месторождений являются эксплуатационные запасы подземных вод, на базе которых осуществляются проектирование водозаборов и разработка этих месторождений. В отличие от всех других полезных ископаемых эксплуатационные запасы подземных вод измеряются не весовыми единицами, а расходом водозаборов (в $\text{м}^3/\text{сут}$), гарантированным на определенное время (обычно 10^4 сут). К запасам подземных вод в отличие от запасов твердых полезных ископаемых неприменимы такие понятия, как оконтуривание, прирезка, блок и т.д. В основе подсчета запасов лежат не геометрические построения, а гидродинамические, геотермические и гидрохимические прогнозы изменения во времени условий эксплуатации, в связи с чем масштабы воздействия на окружающую среду в учетных документах о движении запасов отражаются в заву-

алированной форме. В определении понятия об эксплуатационных запасах помимо производительности водозаборов отражается их рациональность в технико-экономическом отношении и требования к режиму и качеству воды в течение расчетного периода эксплуатации. Таким образом, понятие об эксплуатационных запасах взаимосвязь месторождений с геологической средой прямо не учитывает.

По своему генезису и основным факторам формирования месторождения глубоких подземных вод (минеральные, теплоэнергетические и промышленные воды относятся преимущественно к таким водам) представляют сложные неравновесные природные системы, весьма уязвимые со стороны внешних воздействий. Причем реакция месторождений на внешние воздействия определяется их геолого-гидро-геологическими особенностями (т.е. природными факторами), с одной стороны, и способами разработки (т.е. техническими и технологическими факторами) — с другой.

Воздействие процесса эксплуатации месторождений на геологическую среду принципиально по-разному проявляется на месторождениях, связанных с пластовыми водонапорными системами и трещинно-жильными напорными и безнапорными водоносными системами. С пластовыми водонапорными системами связаны наиболее крупные по размерам и количеству эксплуатационных запасов месторождения всех типов глубоких подземных вод — минеральных, теплоэнергетических и промышленных. К трещинно-жильным системам приурочены месторождения наиболее ценных типов минеральных вод (углекислых, азотных термальных и др.) и месторождения высокопотенциальных теплоэнергетических вод, в том числе и парогидротерм.

Природная модель месторождения является исходным базисом для прогноза возможных изменений геологической среды под влиянием эксплуатации подземных вод. Существенное значение для оценки возможных изменений геологической среды при этом имеет правильный учет техники и технологии разработки месторождений подземных вод, которые определяются схемой расположения и конструкцией водозаборных скважин, способом и режимом эксплуатации подземных вод.

Способ эксплуатации определяет прежде всего величину понижения уровней (пластовых давлений) в процессе разработки месторождений. В настоящее время для добычи глубоких подземных вод применяются фонтанный и глубинно-насосный способы. Первый наиболее экономически выгоден и в наименьшей мере способствует воздействию на геологическую среду. Он обеспечивает лишь частичную сработку эксплуатационных запасов и может применяться в районах, где глубокие подземные воды характеризуются большими избыточными (над поверхностью земли) напорами (избыточными давлениями). Второй способ — принудительной эксплуатации — обеспечивает максимально возможные понижения уровней и наиболее полную сработку эксплуатационных запасов, однако при этом происходит и наиболее чувствительное воздействие на геологическую среду за счет изменения гидродинамических условий глубоких водоносных горизонтов и комплексов.

Принципиально изменяется характер воздействия эксплуатации водозаборов глубоких вод на геологическую среду при применении способа отработки месторождений с обратной закачкой отработанных (использованных) вод в продуктивные водоносные горизонты. При применении этого способа изменяется, в свою очередь, подход как к оценке эксплуатационных запасов глубоких подземных вод, так и к прогнозу последствий длительной разработки месторождений. При этом иначе учитываются также источники и факторы обеспеченности эксплуатационных запасов подземных вод.

Изменения геологической среды под воздействием минеральных, теплоэнергетических и промышленных подземных вод проявляются в различных аспектах. Однако оценка их до настоящего времени производится на качественном и значительно реже на количественном уровне.

Наиболее очевидные изменения геологической среды происходят под влиянием гидродинамических факторов. Отбор подземных вод на месторождениях пластового типа сопровождается снижением пластовых давлений, иногда значительных. За счет этого растут эффективные напряжения в скелете водовмещающих пород. Следствием изменения и перераспределения напряжений, особенно при интенсивном и значительном по величине отборе подземных вод (что обычно имеет место при эксплуатации водозаборов теплоэнергетических и промышленных вод, когда ставится задача добычи их максимально возможного количества), могут быть такие негативные явления, как вынос песка в скважины, просадки земной поверхности, ухудшение коллекторских свойств пород в зоне вокруг скважин. Из-за усилия выноса песка и ухудшения фильтрационных свойств призабойной зоны скважин затрудняются условия эксплуатации и снижаются экономические показатели разработки месторождений, в частности, за счет резкого снижения удельных дебитов скважин.

В результате падения пластовых давлений в продуктивных пластах возникают существенные перепады давлений (или уровней) со смежными водоносными горизонтами, под влиянием которых возникают межпластовые перетоки. С одной стороны, этот процесс приводит к уменьшению темпа падения пластовых давлений, а с другой — может вызвать нежелательное ухудшение качества подземных вод. Из перечисленных явлений чаще всего приходится сталкиваться с выносом песка и снижением удельных дебитов эксплуатационных скважин на месторождениях, где продуктивные пласти представлена недостаточно уплотненными песчаниками.

Вопросы просадки земной поверхности и межпластовых перетоков изучены в недостаточной степени и пока не поддаются количественной оценке. Правда, есть примеры влияния длительной эксплуатации сероводородных вод в районах широкого распространения гипс-ангибитовых и соленосных пород на образование каверн и карстовых полостей, которые, в свою очередь, могут вызывать просадки.

Особый случай влияния на геологическую среду представляет интенсивный отбор подземных вод на естественные источники, которые

могут либо исчезать, либо изменять дебит и качество вод. Примером может служить район Кавказских Минеральных Вод, где существует более 100 капитажных скважин и источников. Эксплуатация минеральных вод приводит к существенному изменению гидрогеологических условий этого района. Так, источники минеральных вод Лермонтовский-2 и Кабардинский в Пятигорске и другие прекратили излив или значительно снизили дебит.

И, наконец, отбор глубоких подземных вод может влиять на месторождения нефти и газа, а разработка последних — на месторождения подземных вод.

Изменение геологической среды при эксплуатации месторождений глубоких подземных вод может происходить за счет изменения термодинамических параметров среды в районе влияния водоотбора. За счет снижения пластовых давлений происходит выделение газа, вплоть до образования газовых шапок, может нарушаться карбонатное равновесие, изменяться pH и Eh среды, происходит переработка вмещающих пород. Такие явления чаще всего встречаются на месторождениях минеральных вод, но могут иметь место и на месторождениях других типов. За счет выделения углекислого газа при эксплуатации месторождений углекислых вод широкое развитие получают процессы травертинообразования, приводящие иногда к подземным взрывам (Карловы Вары) с разрушением зданий и сооружений, а также процессы переработки гранитных пород и превращение их в каолину.

Эксплуатация месторождений купоросных и железистых вод в зонах распространения сульфидных руд приводит к формированию кислых вод и образованию серной кислоты (pH водной среды изменяется от 7 до 3—2). Примерами месторождений купоросных вод могут служить районы Урала (Белвинское, Гайское, Дегтярка), где воды имеют резко выраженную кислую реакцию (pH равно 2—3), за счет чего они обладают выщелачивающими свойствами, приобретают в основном сульфатный состав и большую минерализацию (до 50 г/л).

Большое внимание уделяется в настоящее время поисково-разведочным и тематическим работам на крупных месторождениях минеральных вод с целью изучения режима их эксплуатации и решения вопросов расширения всесоюзных курортно-санаторных комплексов. Такие работы и исследования проведены на Боржомском месторождении и в районе Кавказских Минеральных Вод. Установлено, что месторождения подземных минеральных вод в естественной природной обстановке являются равновесными гидрогеохимическими и гидродинамическими системами, чутко реагирующими на изменение этой природной обстановки, в том числе под влиянием неоправданно интенсивной эксплуатации подземных вод.

Так, проведенные в 1978—1982 гг. детальные гидрогеологические работы на Боржомском месторождении углекислых минеральных вод позволили не только переоценить эксплуатационные запасы этих вод, но и улучшить условия их эксплуатации и охраны путем упорядочения сети пробуренных скважин и обоснования более рациональ-

ной системы разработки месторождения, исключающей опасность истощения ресурсов этого ценнейшего типа минеральной воды.

В 1985 г. завершен большой комплекс работ, позволивший уточнить геолого-тектоническую, гидрогеохимическую и гидродинамическую структуру Кавказских Минеральных Вод, условия формирования и локализации месторождений минеральных вод этого крупного курортного района. С использованием методов аналогового и математического моделирования выявлена тесная гидравлическая связь между группой гидроинжекционных месторождений минеральных вод в городах Кисловодск, Ессентуки, Нагуты и др., приуроченных к геологической структуре Минераловодского выступа. Это имеет принципиальное значение для оценки запасов и рациональной эксплуатации такого типа месторождений, широко развитых в горно-складчатых районах страны. Для Нагутского района с использованием математического моделирования впервые дана количественная оценка естественных ресурсов минеральных вод и показано, что водоотбор, превышающий эти ресурсы, приведет к перемещению контуров минеральных вод и изменению их качества, а в конечном счете — к порче или полной ликвидации этого и смежных с ним месторождений.

Дальнейшие исследования в районах Боржоми и Кавказских Минеральных Вод должны проводиться в направлении разработки системы математических моделей, которые в конце двенадцатой пятилетки станут основой для оценки ресурсов минеральных вод и обоснования рациональных способов их освоения и управления эксплуатацией. В тринадцатой пятилетке предполагается создание постоянно действующих гидрогеологических моделей этих районов, что позволит не только оценивать запасы вод и учитывать их во времени, но также управлять режимом эксплуатации месторождений.

Актуальной задачей, которая, к сожалению, не сходит с повестки дня, является сохранение и рациональное использование ресурсов минеральных вод. Как количество, так и качество минеральных вод подвержены изменениям под влиянием хозяйственной деятельности, в том числе их эксплуатации. Между тем значительное число водозаборов на действующих курортах и предприятиях розлива эксплуатируют месторождения минеральных вод с неутвержденными запасами, а часто и с неутвержденными кондициями, что создает угрозу истощения ресурсов многих ценных типов минеральных вод. По многим месторождениям не оформлены разрешения на спецводопользование. Медленно выполняются решения, направленные на охрану минеральных вод от загрязнения их с поверхности, о выводе с территорий курортов промышленных и сельскохозяйственных предприятий, не связанных с деятельностью лечебных и профилактических учреждений. Недостаточно ведется работа по созданию сети наблюдений за режимом эксплуатации месторождений минеральных вод, гидрогеологическому и техническому обеспечению этих наблюдений. Значительная часть месторождений, эксплуатируемых ведомственными организациями, еще не имеет округов и зон санитарной охраны, а на место-

рождениях минеральных вод с утвержденными округами санитарной охраны (преимущественно на курортах общесоюзного и республиканского значения) границы их нарушаются.

Интенсивные изменения происходят на месторождениях парогидротерм в процессе эксплуатации. Так, однофазные гидротермальные системы с преобладанием жидкой фазы переходят в двухфазные системы (пар+жидкая фаза). В двухфазных гидротермальных системах начинает преобладать паровая фаза, увеличивается температура и теплосодержание пара. Внедрение холодных вод может привести к прекращению существования геотермального месторождения.

Аналогичные изменения могут происходить на месторождениях вод гидроинъекционного типа: в процессе эксплуатации может интенсифицироваться разгрузка глубинных вод, а при водоизборах более величины естественных ресурсов "купол" минеральных вод вообще может исчезнуть.

Существенные изменения геологической среды происходят при закачке отработанных вод в продуктивные водоносные комплексы и горизонты. Под влиянием закачиваемых вод происходит охлаждение пласта, кольматация пор и трещин, развиваются процессы сероводородного заражения, разубоживание кондиционных промышленных вод и другие явления.

Возможные изменения геологической среды под влиянием отбора минеральных, теплоэнергетических и промышленных вод безусловно не исчерпываются приведенным перечнем. К сожалению, сопровождающие разработку глубоких подземных вод изменения геологической среды в большинстве случаев только констатируются или предполагаются. В нормативных документах по разведке и разработке месторождений вопросы изучения возможных изменений геологической среды, как правило, не отражены, за исключением проблемы влияния сброса использованных (отработанных) вод на окружающую природную среду (водоемы, водотоки, ландшафты и т.д.).

Серьезно сдерживает количественную оценку изменений геологической среды при эксплуатации месторождений глубоких подземных вод отсутствие приборов контроля и надлежащей геологической службы при эксплуатации месторождений.

Первоочередные задачи изучения изменений геологической среды при эксплуатации водозаборов глубоких подземных вод на современном этапе можно сформулировать следующим образом:

1. Обоснование моделей, позволяющих оценивать и прогнозировать влияние процессов водоизбора глубоких подземных вод на геологическую среду.

2. Создание опытных полигонов для проверки этих моделей на реальных месторождениях. Для таких полигонов целесообразно использовать длительно эксплуатируемые водозаборы.

3. Дальнейшая разработка нормативов и законодательных актов, которые должны регламентировать необходимость учета и оценки взаимодействия месторождения (участка) с окружающей средой при разведке, подсчете запасов и эксплуатации.

4. Создание и изготовление приборов и аппаратуры для про-

ведения наблюдений за взаимодействием водозаборов глубоких подземных вод с геологической средой.

5. Укрепление геологической службы на действующих водозаборах и обеспечение надежного контроля за использованием эксплуатационных запасов и изменениями геологической среды под влиянием эксплуатации.

УДК 624.131.526:624.131.63:624.131.7

Е.А. Яковлев, Б.В. Графский, Г.В. Лисиченко, Э.В. Соботович

Итоги и задачи изучения изменений геологической среды в районах возведения атомных электростанций

Состояние и проблемы развития атомной энергетики. Важнейшая роль в обеспечении ускоренного развития всего народного хозяйства страны принадлежит энергетике. В соответствии с Энергетической программой СССР и решениями XXVII съезда КПСС устойчивое удовлетворение потребностей в различных видах топлива и энергии будет осуществляться на основе улучшения структуры топливно-энергетического баланса, подъема атомной энергетики, широкого использования водообновляемых источников энергии, последовательного проведения во всех отраслях народного хозяйства активной и целенаправленной работы по экономии топливно-энергетических ресурсов. При этом атомная энергетика должна получить ускоренное развитие.

Советский Союз первым открыл эру использования атомной энергии в мирных целях. За тридцать с небольшим лет, прошедших со дня пуска первой в мире Обнинской АЭС, атомная энергетика шагнула далеко вперед по пути укрупнения АЭС, значительного увеличения единичной мощности реакторов — от 5 тыс. до 1,5 млн кВт. Сейчас в нашей стране действует свыше 40 реакторов общей мощностью около 30 млн кВт. В двенадцатой пятилетке строительство новых мощностей АЭС осуществляется преимущественно в Европейской части страны и на Урале, наиболее остро нуждающихся в энергии. В частности, большие объемы строительства атомных энергетических объектов предусмотрены на Украине.

Значительное развитие атомная энергетика получила также за рубежом. В настоящее время в различных государствах работает около 400 энергетических реакторов разного типа с общей мощностью более 280 млн кВт. В энергетике ряда стран АЭС играют ведущую роль. Так, в Болгарии на их долю приходится 30% всей производимой энергии, в Швейцарии — 35%, в Швеции — 39%, в Бельгии — 50%, во Франции — 65% [18, 19].

По сравнению с электростанциями на органическом топливе АЭС при работе не дают выбросов золы, шлака, окислов серы, азота и уг-

лерода, не нуждаются в кислороде, дают небольшие объемы отходов. Их радиационное воздействие на окружающую среду при нормальной эксплуатации в несколько сот раз ниже, чем у крупных тепловых станций, работающих на органическом топливе [15]. Поэтому АЭС сейчас успешно конкурируют с электростанциями на органическом топливе и себестоимость электроэнергии на многих из них заметно ниже, чем на тепловых станциях.

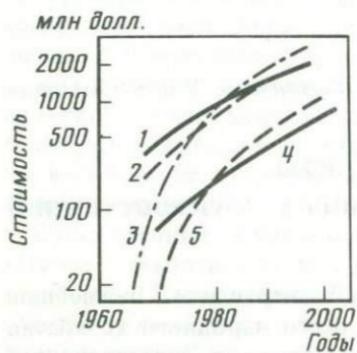


Рис. 1. Динамика роста стоимости мероприятий по борьбе с загрязнениями в бассейне р. Девавер [16]

1 — 5 — расходы на обработку столовых (1), твердых отходов (2), автомобильных загрязнений (3), промышленных отходов (4), энергетических отходов (5)

Увеличение мощностей АЭС и строительство многоблочных крупных энергетических комплексов приводит к изъятию под строительство значительных территорий, в процессе эксплуатации которых используются большие объемы водных ресурсов, возникает дополнительное тепловое и радиационное воздействие на окружающую среду, активизируются некоторые опасные геодинамические процессы, что приводит к определенным характерным изменениям в различных звеньях природной системы. Таким образом, в районах размещения АЭС формируются специфические природно-техногенные комплексы, отличающиеся определенными тенденциями изменений геологической среды, иногда приводящими к негативным эколого-экономическим последствиям. Затраты на восстановление естественного равновесия обычно бывают весьма высоки (рис. 1).

Требования к безопасности атомных станций за последние годы неизмеримо возросли, что отражается на увеличении стоимости оборудования и продолжительности сроков строительства. Если в 1974—1975 гг. стоимость систем безопасности не превышала 30% общей стоимости АЭС, то к концу одиннадцатой пятилетки она достигнет 50% всех капитальных затрат на сооружение АЭС, в ближайшем же будущем может возрасти до 70% [5].

Несмотря на это, аварии при эксплуатации атомных реакторов все же имеют место, приводят иногда к серьезным экологическим последствиям. Так, по имеющимся данным, только за период с 1971 по 1984 г. на атомных станциях в 24 странах произошла 151 авария.

Аварии на АЭС отличаются от аварий на обычных электростанциях тем, что они могут давать выбросы в окружающее пространство значительных количеств радиоактивных веществ. Примеры таких аварий известны: авария на реакторе в Монтиселло, штат Минне-

сота, 19 ноября 1971 г., расплавление активной зоны из-за утечки теплоносителя на реакторе "Тримайл айленд" 28 марта 1979 г., авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. и другие. Согласно оценкам МАГАТЭ, вероятность аварии в год составляет 1:100 (на каждые 100 реакторов можно ожидать одну аварию).

Человечеству приходится платить за технический прогресс, но остановить его оно не может. Поэтому стратегия развития атомной энергетики, как и других сложных инженерных систем, должна опираться на следующие основополагающие принципы, сформулированные академиком Б.Е. Патоном [17]: "Только глубокое изучение всех аспектов надежности и ненадежности крупного инженерного объекта делает его по-настоящему работоспособным и безопасным... Хотя абсолютная надежность, к сожалению, недостижима, стремиться нужно именно к ней, зачастую отваживаясь на самые высокие затраты. Ибо экономия здесь может привести к поистине опустошительным потерям".

Вместе с тем при проектировании и строительстве крупных народнохозяйственных комплексов указанная стратегия выдерживалась не всегда, особенно в части взаимодействия возводимых объектов с геологической средой и разработки природоохранных мероприятий.

Однако авария в Чернобыле, ряд аварий и инцидентов на АЭС США, Англии, ФРГ, Канады обострили понимание того, что мирный атом требует особого к себе подхода. Позицию СССР по этому вопросу красноречиво отразил М.С. Горбачев в своем выступлении по советскому телевидению 14 мая 1986 г.: "Для нас непререкаемый урок Чернобыля состоит в том, что в условиях дальнейшего развития научно-технической революции вопросы надежности техники, ее безопасности, вопросы дисциплины, порядка и организованности приобретают первостепенное значение. Нужны самые строгие требования везде и во всем".

В соответствии с общепринятыми нормами безопасности в основу конструирования и устойчивой эксплуатации АЭС положены три принципа: практическое сохранение естественного радиационного фона, близость к нулевой вероятности крупной аварии с разрушением защитных средств и полный контроль за радиоактивными отходами в течение всего периода их распада. Существующая в мире практика эксплуатации АЭС показала, что они выдерживаются далеко не всегда, а ряд нормативных положений по этим вопросам не был достаточно разработан. Поэтому в ближайшее время должны быть пересмотрены существующие нормы проектирования и разработаны новые эффективные мероприятия по радиационной безопасности действующих и строящихся АЭС, в первую очередь в части общих норм радиационной безопасности, санитарных правил проектирования и эксплуатации АЭС, создания биологической защиты персонала от проникающего излучения нейтронов и гамма-квантов, ограничения радиоактивных выбросов в окружающую среду, создания систем, предупреждающих аварии и локализующих их радиационные последствия. Определенная роль в разработке системы общей безопасности АЭС принадлежит геологической и проектно-изыскательской службам страны, обеспечи-

вающим геолого-экологическую обоснованность принимаемых проектов, контроль и прогноз устойчивости инженерных сооружений АЭС и изменений состояния геологической среды под воздействием их эксплуатации, разработку эффективных природоохранных мероприятий.

При инженерно-геологических изысканиях следует изучать все геологические процессы, происходящие на исследуемой территории, независимо от того, катастрофический или некатастрофический характер они имеют. При этом прогноз должен даваться во времени и пространстве и предусматривать возможную активизацию существующих и вновь возникающих геологических процессов.

Существенное повышение качества, реалистичности и сокращение сроков принимаемых проектных решений может быть осуществлено только на базе применения методов математического моделирования, разработка которых, по мнению авторов, должна базироваться на следующей методологии.

Для всестороннего планировочного анализа территории и комплексной оценки ее геолого-экологических показателей при обосновании схем размещения объектов атомной энергетики предлагается создание моделей макро-, мезо- и микроуровней, которым соответствуют свои масштабы обобщения исходных данных.

Модели макроуровня составляются для республик, областей, крупных регионов в масштабах от 1:5 000 000 до 1:500 000. Общая оценка территории с выделением районов, благоприятных и неблагоприятных для строительства, производится по интегральным количественным показателям и расчетному рангу района. Модели мезоуровня составляются для масштабов от 1:200 000 до 1:25 000. Наряду с природными показателями и оценками экономической емкости в них должны учитываться показатели развития и размещения новых народнохозяйственных объектов. Составление моделей микроуровня осуществляется в пределах выделенных на втором уровне моделирования альтернативных участков, перспективных для размещения АЭС.

Первый уровень моделирования может представлять интерес для планирующих директивных органов, использующих результаты моделирования для обоснования районов размещения крупных энергетических и промышленных объектов. Модели второго уровня позволяют проектирующим организациям обосновывать размещение пунктов строительства объектов, решать различного рода задачи прогноза изменения природных условий в результате строительства (оценка и прогноз изменения гидрогеологических условий, тепловое загрязнение, миграция радионуклидов в аварийных ситуациях и др.). Третий уровень моделирования обусловлен необходимостью дополнительных инженерно-геологических изысканий на конкретных площадках для обоснования и оптимизации размещения конкретных технологических узлов АЭС.

Модели всех уровней реализуются на ЭВМ и структурно представляют собой совокупность программного обеспечения и баз данных показателей природных условий (физико-географических, геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и т.п.). В моделях

первого уровня используются алгоритмы автоматической классификации объектов, которые позволяют выделить группы районов со сходными условиями. Сравнение расчетных районов и их пригодность для строительства производится путем полуавтоматизированной оценки. В моделях второго и третьего уровней программное обеспечение позволяет решать следующие вопросы: оценку функции распределения показателей свойств грунтов и вычисление элементарных статистик; выделение системы инженерно-геологических тел с применением кластерного, факторного и дискриминантного анализов; анализ связи между показателями физико-механических свойств грунтов (пошаговый) регрессионный анализ, анализ пространственной изменчивости показателей физико-механических свойств грунтов (трендализ), решение прогнозных задач изменения гидрогеологических условий под влиянием хозяйствственно-строительной деятельности [4].

В настоящее время завершается для территории Украины составление модели первого уровня масштаба 1:1 000 000, на базе которой будет выполнено районирование природных условий для обоснования размещения крупных энергетических и промышленных объектов. Успешное решение этих вопросов явится одним из основных путей повышения надежности безаварийной эксплуатации атомных энергетических объектов в будущем.

Основные факторы влияния АЭС на геологическую среду. Анализ факторов, влияющих на геологическую среду, целесообразно рассмотреть на примере территории Украины, в пределах которой плотность размещения действующих и строящихся атомных энергетических объектов в настоящее время наибольшая по стране.

Территория УССР в региональном плане характеризуется высоким уровнем хозяйственного освоения, что определяет интенсивное влияние техногенеза на геологическую среду республики, состав и характер протекающих в ней процессов [25, 27]. При площади УССР 603 тыс. км² (3% от СССР) на ее территории производится свыше 20% совокупного общественного продукта страны, т.е. техногенная нагрузка на 1 км² почти на порядок выше средней по стране. Поэтому воздействие АЭС на геологическую среду УССР накладывается на уже существующие техногенные изменения ее состояния от других крупных народнохозяйственных комплексов.

Главным фактором техногенных изменений гидрогеологических и инженерно-геологических условий УССР, как показывают результаты многолетних работ Мингео УССР и АН УССР по изучению режима подземных вод и экзогенных геологических процессов, стало региональное изменение водного баланса территории УССР [6, 27]. К настоящему времени в пределах УССР практически зарегулирован поверхностный сток, для чего построено около 25 тыс. водохранилищ (1 на 25 км²). Средний подпор р. Днепр под влиянием каскада водохранилищ составил около 8—10 м и оказывает подпорное влияние в плане на расстоянии 15—35 км и более. Значительные изменения в водный баланс вносит работа оросительных систем, создание отстойников промышленных стоков, утечки из городских коммуникаций, несовершенные инженерные решения.

Следствием изменения водного баланса территории УССР стало увеличение питания грунтовых вод, подъем уровней при усилении увлажнения пород зоны аэрации, ухудшение инженерных свойств грунтов (снижение прочности, выщелачивание растворимых минералов, просадочность и др.). Региональный характер изменения инженерно-геологической обстановки на территории УССР во многом связан с динамикой подземных вод, их способностью к передаче воздействий на уровни и водный баланс на площади, в десятки и сотни раз превышающей размеры объекта воздействия. Так, например, при площади горных работ на Белозерском железорудном месторождении около 4 км² площадь зоны депрессии достигает 10 тыс. км², а площади депрессии шахт Западного Донбасса в десятки раз превышают площадь горных работ.

Охарактеризованные выше основные элементы механизма формирования и передачи техногенных воздействий в верхней зоне геологической среды (геофiltрационных, водно-балансовых и геомеханических) обуславливают их комплексное влияние и региональный фактор проявления. Наличие при этом своего рода "неявного" периода подготовки и развития отдельных инженерно-геологических процессов (оползни, карст и др.) определяет практическую важность достоверной оценки и прогноза инженерно-геологических условий в зонах размещения крупных территориально-производственных комплексов и важных инженерных объектов.

Характерной особенностью экономической обстановки территории УССР является также достигнутый ею крайне высокий уровень активного хозяйственного освоения — более 90%, в том числе около 70% занято пахотой, водохранилищами, застройкой и др.

Многолетние наблюдения за работой АЭС за рубежом и в СССР показывают, что объектам атомной энергетики присущ специфический комплекс воздействий на геологическую среду, которые предварительно могут быть обобщены в виде следующих групп: 1) нарушение водного баланса в процессе застройки, эксплуатации промышленных, водохозяйственных и жилых объектов; 2) изменение структуры и свойств пород в основании сооружений АЭС под воздействием нагрузок, увлажнения, нагрева и других факторов объекта, влияющих на их физико-механические, водно-физические свойства и протекающие геологические процессы в системе вода—порода; 3) повышение активности тепломассопереноса с изменением водного и теплового баланса верхней зоны пород и формирование контура геоэнергетического взаимодействия системы объектов АЭС с геологической средой; 4) загрязнение окружающей среды радиоактивностью.

Нарушение водного баланса в зоне влияния АЭС обусловлено резким снижением испарения под влиянием застройки, усилением инфильтрации поверхностного стока, утечками из водных систем и водохранилищ, подпором естественных потоков подземных вод и повышением их уровней. Как показывает зарубежный и отечественный опыт, нарушения естественного водного баланса могут быть настолько велики, что даже при активной естественной дренированности территории значительно превышают влияние гидролого-климатиче-

ских факторов (в том числе периодов с повышенной водностью года). Интенсивное техногенное питание способствует быстрому повышению уровней грунтовых вод на расстоянии 3—5 км и более со скоростью 1,2—2,0 м/год, поэтому даже при расположении АЭС на водораздельных пространствах с глубинами до грунтового горизонта 10—15 м их площадки могут быть отнесены к практически подтопляемым территориям.

Под воздействием дополнительного увлажнения или водонасыщения пород на площадке АЭС возможны процессы снижения прочности, просадки, набухания, фильтрационные деформации. Активная роль воды в изменении свойств пород имеет особое значение для территории УССР, где практически повсеместно развиты породы осадочного комплекса, две трети которых составляют лёссовые образования, подверженные просадкам и значительному снижению сейсмической стойкости при постепенном их водонасыщении. Одним из сложных вопросов массового строительства АЭС является оценка геоэнергетического потенциала системы АЭС — геологическая среда для определения вероятности нарушения ее устойчивости при совместном действии естественных и техногенных факторов [28].

Все это определяет необходимость комплексного изучения естественных свойств и геотехнологических параметров пород в натурных и лабораторных условиях. Практическая и теоретическая важность данного подхода как обязательного условия устойчивой и безопасной эксплуатации крупных народнохозяйственных объектов сформулирована акад. Е.М. Сергеевым [23, 24] в виде методического принципа оценки полноты изучения состояния геологической среды, а также достоверности полученных для проектирования инженерно-геологических параметров территории строительства.

Объекты АЭС характеризуются значительным тепловыделением в окружающую среду преимущественно в виде стока в местную гидрографическую сеть. Повышение температуры инфильтрующихся техногенных вод по сравнению с естественными подземными водами создает устойчивые предпосылки значительного усиления взаимодействия в системе вода—порода, активизации протекающих и развития новых процессов. Степень изменения свойств и состояния пород в условиях техногенного тепловодопереноса зависит от структурной устойчивости пород.

Основным активным элементом системы вода—порода верхней зоны геологической среды с нарушенным водным режимом является свободная вода, которая обусловливает наиболее широкий комплекс изменений свойств породы по сравнению со связанный и капиллярной. При воздействии свободной воды на входящие в состав пород минералы происходит их растворение, вынос (химическая суффозия), разрушение структуры, взвешивание, механическая суффозия, реологические процессы и др. Повышенная температура и ускоренная фильтрация свободных вод в зоне водно-теплового (энергетического) влияния АЭС может значительно усилить указанные процессы.

Опережающее развитие строительства объектов атомной энергетики на территории УССР требует повышения уровня гарантирован-

ности устойчивой и безопасной эксплуатации АЭС при достоверном прогнозе изменений окружающей среды. Опыт свидетельствует, что решающим образом на устойчивость работы АЭС могут влиять изменения геологической среды, с которой, по словам академика В.И. Вернадского, человечество теснее всего связано в своей жизнедеятельности. Комплекс мероприятий, направленных на обеспечение надежной эксплуатации, может быть сгруппирован следующим образом:

1. Проектные решения социального плана должны включать: размещение объектов АЭС в удалении от крупных населенных пунктов и важных народнохозяйственных объектов, 3—4-кратную блокировку систем управления и контроля безопасности основных рабочих органов АЭС, применение жестких нормативов на допустимые изменения экологических параметров окружающей среды.

2. Конструкторско-технологические способы должны быть направлены на повышение надежности технологических и конструкторских решений, включая разработку систем защиты окружающей среды для аварийных ситуаций.

3. Оценка геотехнологических параметров системы АЭС должна представлять геологическую среду с полнотой и достоверностью, достаточными для изучения изменений основных элементов верхней зоны геологической среды при длительном воздействии факторов АЭС (тепловой поток, напорная фильтрация и др.) и исключения размещения объектов на площадках с негативным прогнозом инженерно-гидрогеологических условий.

Следует отметить недостаточную разработанность в настоящее время критериев оценки поведения геологической среды в зоне воздействия АЭС и хранилищ отходов, в том числе в долговременном плане. Это обусловлено прежде всего многообразием и сложностью природных условий, в которых осуществляется строительство АЭС, а также большим комплексом их локальных и региональных воздействий на геологическую среду, методы прогноза изменения которой в условиях техногенеза только начали разрабатываться.

Оценка изменений теплового режима геологической среды и влияния на инженерно-геологические условия районов размещения АЭС. Результаты многолетних работ Киевского отдела "Атомпроекта" Минэнерго СССР, АН УССР (ИГН, ИГФМ), Мингео УССР свидетельствуют о том, что одним из главных инженерно-геологических факторов влияния АЭС на геологическую среду является сбросное тепло, составляющее основную долю энерговыделения (до 70%) в окружающую среду [7, 28]. Высокая теплоемкость воды (в 3,3 тыс. раз выше воздуха) обуславливает ее использование в качестве главного теплоотводящего элемента в системе АЭС (сети производственно-технического водоснабжения, бассейны-охладители, градирни). В то же время конструктивные недоработки не исключают утечек и инфильтрации нагретых техногенных вод (до 50°C) в подземную гидросферу с последующим нарушением температурного равновесия в системе вода—порода (рис. 2). Дополнительным фактором повышения температуры грунтов и грунтовых вод является утепляющее влияние застройки зданиями, дорожными покрытиями и др. Таким образом, эксплуата-

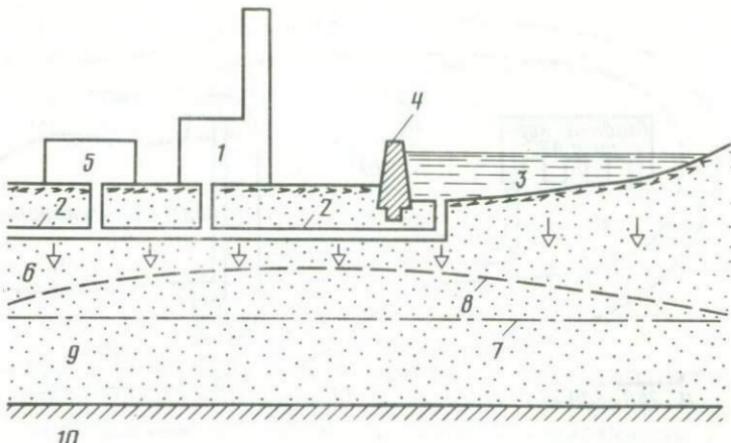


Рис. 2. Принципиальная схема геогидротермальных условий АЭС

1 — реакторный блок; 2 — производственные водопаропроводы; 3 — бассейн-охладитель; 4 — дамба бассейна-охладителя; 5 — производственные здания АЭС; 6 — поступление техногенных вод и тепла; 7 — естественный уровень грунтовых вод; 8 — техногенный уровень грунтовых вод; 9 — песчано-суглинистые грунты основания; 10 — водоупорная почва грунтового горизонта

ция комплекса атомных энергетических объектов приводит к формированию техногенного теплового поля геологической среды, оценка изменений режима и параметров которого необходима для правильного размещения и достоверного прогнозирования взаимодействия геотехнической системы АЭС—геологическая среда.

Геогидротермальные наблюдения проводились по сети наблюдательных скважин, сгруппированных в виде профилей и ориентированных вкрест и по направлению грунтового потока, учитывая преобладание в нем конвективного переноса тепла. Протяженность каждого из створов достигала 1 км при размещении в нем 6—8 скважин на расстоянии от 25 до 200 м. Частота замеров составляла 6 раз в год с двукратными наблюдениями в паводковый и меженный периоды, характеризующиеся наибольшими изменениями теплового фронта в грунтовых водах. Обработка фактических данных изменения теплового режима геологической среды проводилась на методической основе расчетов геофiltрации, так как специфической особенностью теплопереноса в системе АЭС—геологическая среда является преобладание конвективного переноса тепла вследствие повышенных значений теплоемкости воды по сравнению с минеральным скелетом [13, 14]. Активному развитию теплопереноса в системе в процессе строительства и эксплуатации способствует ряд инженерно-гидрогеологических факторов, включающих следующее:

значительную заглубленность тепловыделяющих элементов энергетического комплекса в массивы горных пород;

техногенное усиление инфильтрационного питания грунтовых вод, сопровождающееся подъемом их уровней и ростом скоростей фильтрации;

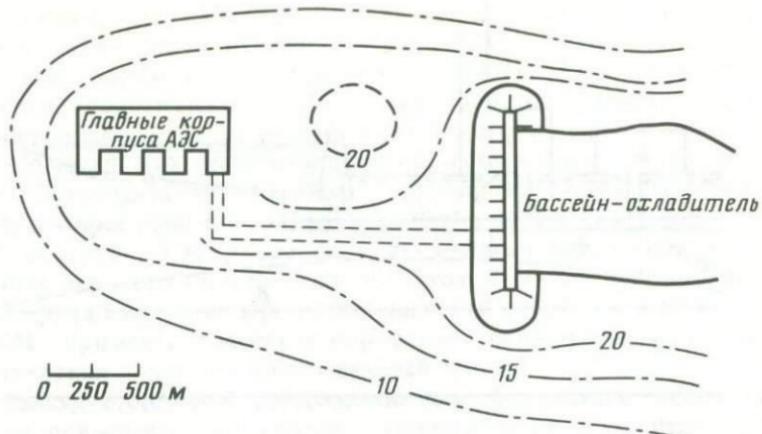


Рис. 3. Схематическая карта изотерм (цифры — температура $^{\circ}\text{C}$) грунтовых вод в зоне размещения АЭС

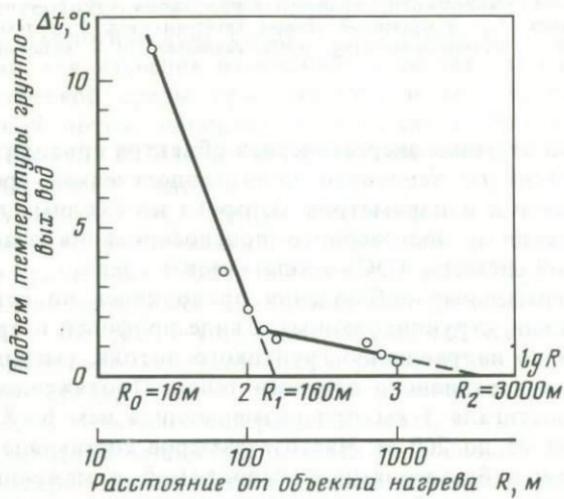


Рис. 4. Геогидротермальный профиль грунтовых вод в зоне влияния нагрева объектов АЭС.

повышенное водопотребление АЭС по сравнению с другими энергообъектами ($2 \text{ м}^3/\text{с}$ против $1,1 \text{ м}^3/\text{с}$ на ТЭЦ при безвозвратных потерях $1 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1000 МВт).

Разработка количественных методов прогноза тепловодопереноса в системе АЭС—геологическая среда представляет большой практический интерес для УССР в связи с широким разнообразием геологического-экологических условий ее территории, активными техногенными изменениями уровней и химсостава подземных вод и процессов в верхней зоне пород, а также необходимостью выбора оптимальных вариантов размещения новых энергетических объектов.

Возможность значительных техногенных изменений природных

Таблица 1

Нагрев грунтовых вод на различном расстоянии от источника

Параметр	Скважина							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Расстояние от объекта нагрева <i>r</i> , м	25	75	100	125	150	650	750	1000
Нагрев грунтовых вод Δt , °C	11,0	3,5	2,2	1,5	1,2	1,0	0,7	0,5

полей температур в верхней зоне геологической среды подтверждается сравнением среднемноголетних балансовых величин атмосферного тепловыделения в естественном режиме, составляющего $2 \cdot 10^6$ ккал/(м²·год), с тепловыделением АЭС мощностью 4000 МВт в санитарно-защитной зоне площадью до 30 км². Его осредненная величина равна $(3 \div 4) \cdot 10^6$ ккал/(м²·год) и в 1,5—2 раза превышает параметры теплопереноса окружающей среды.

Для полноты оценки геолого-экологического влияния тепловыделения АЭС и выявления их взаимосвязи с изменениями геологической среды на основе данных В.И. Лялько, В.И. Дворова, И.М. Дворова [8, 13] проведено сравнение природного атмосферного $w_{\text{атм}}$ и глубинного w_3 теплопереноса для зоны Средне-Русской возвышенности:

$$w_{\text{атм}} \cdot w_3 \approx 2 \cdot 10^6 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}) : 400 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}) = 5000.$$

Результаты расчетов показывают, что преобладающее поступление техногенного тепла от АЭС в систему грунтовые воды—минеральный скелет может стать причиной более масштабного изменения температурного режима геологической среды по сравнению с атмосферным и существенно повлиять на состояние грунтов в основании несущих конструкций.

Основные данные о техногенном тепловом поле АЭС отражены на схематической карте геогидроизотерм грунтового горизонта (рис. 3). и геогидротермальном профиле, построенном по створу наблюдательных гидрогеологических скважин (рис. 4, табл. 1).

Совместный анализ данных карты геогидроизотерм, профиля и таблицы позволяет отметить следующие основные закономерные связи техногенного теплового поля системы АЭС—геологическая среда:

наиболее высокие температуры грунтовых вод фиксируются в зоне охладительного бассейна и промплощадки;

относительная равномерность прогрева грунтовых вод прослеживается в зоне их транзитного движения, ограниченного в разрезе местным выдержаным водоупором;

наблюдаются близость к плоскорадиальному распределению поля устойчивого повышения температуры грунтовых вод от внешнего контура промплощадки и до зоны естественного движения грунтового потока (область конвективного переноса тепла);

прослеживается тесная связь режима развития теплового поля с

геофильтрационными параметрами подстилающих пород, проявляющаяся в сходном характере изменения градиентов уровней и температур;

определяется близкое к квазистационарному (во времени) повышение температуры грунтовых вод, что свидетельствует об устойчивом характере водотеплопереноса и сопутствующих изменений температурного режима верхней зоны литосферы.

Для оценки параметров теплопереноса в техногенном тепловом поле системы АЭС—геологическая среда выполнена совместная обработка данных о режиме уровней и температур грунтовых вод с расчетом теплового баланса по картам геогидроизотерм (см. рис. 3) и построением полулогарифмических графиков прироста температур $t^o = f(lgr)$ (рис. 4), аналогичных применяемым при прослеживании депрессий водозаборов [3]. Повышение температур верхней зоны геологической среды под влиянием кондуктивного прогрева грунта сооружениями АЭС не учитывалось, так как теплофизические свойства грунтов (теплоемкость и теплопроводимость) значительно ниже аналогичных параметров потока грунтовых вод [8].

Поэтому основным условием, определившим возможность использования приведенной зависимости, является существенное преобладание конвективного переноса тепла в плоскорадиальном потоке с незначительным его кондуктивным рассеиванием при снижении уровня грунтовых вод ниже глубины сезонного колебания температур (см. рис. 4).

Аналогичный вывод о незначительном влиянии сезонных изменений температур на техногенный тепловой режим грунтовых вод был получен Б.Л. Горловским и Л.М. Шехтманом при изучении геогидротермального режима промплощадок ТЭЦ, отличающихся значительно меньшими объемами водотеплопереноса по сравнению с АЭС [7].

На полулогарифмическом графике $t^o = f(lgr)$ (см. рис. 3) по мере удаления от АЭС можно выделить три области с различающимися условиями теплопереноса:

I — внутренняя, практически ограниченная размерами тепловыделяющих объектов, характеризуется интенсивным поступлением теплых техногенных вод с одновременным подъемом уровня и ускоренным охлаждением грунтовых вод, залегающих в зоне сезонных колебаний температур (область максимального геогидротермального градиента по [7]).

II — центральная, плоскорадиального пластового ("поршневого") движения разогретых грунтовых вод, охватывает основную часть теплового поля системы АЭС—геологическая среда и отличается линейным характером графика зависимости $t^o = f(lgr)$;

III — внешняя, неустойчивого поведения теплового поля (изменчивость температур грунтовых вод в ее пределах близка к фону и может носить несплошной характер).

Для практических оценок и расчетов представляет интерес экстраполяция линейных отрезков графиков $t^o = f(lgr)$ в I и II зонах до пересечения их с осью расстояний r . Полученные при этом значения R_1 и R_2 (см. рис. 3) в физическом плане могут быть проинтерпретированы

ны как радиусы выделенных геогидротермальных зон техногенного теплового поля геологической среды, отличающихся своим водотепловым режимом. Сравнение величин R_1 и R_2 (160 и 3000 м соответственно) убедительно свидетельствует о том, что основные закономерности развития геогидротермального поля системы АЭС—геологическая среда проявляются во II зоне и характеризуются определяющим влиянием параметров конвективного переноса воды и тепла.

Выполненные оценки указывают на то, что в I зоне техногенное поступление тепла в несколько раз превышает естественное, а во II составляет 50—10% от него.

Увеличение водотеплопереноса и теплосодержания в геологической среде может быть причиной ряда термогеомеханических процессов. В общем случае применительно к системе АЭС—геологическая среда к данным процессам можно отнести:

снижение несущей способности (прочностных характеристик) горных пород вследствие их выщелачивания и роста общей пористости породного массива;

проявление температурных напряжений, сопровождающихся пучением, контактными подвижками грунтов основания и др;

усиление процессов, обусловленных взаимодействием минерального скелета с нагретой водой, характеризующейся большей подвижностью и меньшей прочностью связей со скелетом грунта.

В известковых и гипсовых породах, подверженных воздействию подогретых вод и содержащих свободную углекислоту, ослабление минерального скелета проявляется наиболее интенсивно и способствует развитию карста. Активному протеканию указанных процессов в зоне АЭС способствует повышенное техногенное питание грунтовых вод и их слабая защищенность от загрязнения с поверхности [6, 27]. Активизация карстовых процессов имела место на некоторых площадках АЭС на Украине.

Кроме того, при повышении температуры в основании АЭС на контакте несущих конструкций с грунтом возможно возникновение температурных напряжений, максимальные значения которых следует ожидать в местах наибольшего перепада температур [11, 22].

Заблаговременное выявление таких зон в комплексе с оценкой параметров техногенного геогидротермального поля АЭС может обеспечить эффективное регулирование температурного режима геологической среды и предотвращение температурных напряжений.

В настоящее время, несмотря на значительное количество работ по изучению геологической среды, практически отсутствуют исследования изменений гидротермальных условий в зоне влияния АЭС и их связи с техногенным развитием экзогенных геологических процессов. Сложившееся положение обусловлено в первую очередь ограниченностью данных длительных наблюдений за водотеплопереносом в системе АЭС—геологическая среда и отсутствием методики комплексных научных, производственных и экспериментальных работ.

В связи с этим приведенные данные натурных исследований тепловодопереноса в зоне влияния АЭС носят предварительный характер.

Таблица 2

Возможные основные загрязнители окружающей среды, получаемые на различных этапах ядерного топливного цикла

Источник отходов	Тип радиоактивности отходов	Физическое состояние вещества отходов	Типичные изотопы
Добыча и переработка радиоактивных руд	Естественная активность	Твердое	Уран-238 Радий-226 Торий-230
		Жидкое Газообразное	Радий-226 Радон-222
Изготовление уранового топлива на заводах	То же	Твердое	Уран-235
		Жидкое	Уран-235
		Газообразное	Уран-238
Эксплуатация атомных реакторов	Активность продуктов активизации и продуктов деления	Твердое	Кобальт-58 Кобальт-60 Железо-59
		Жидкое	Марганец-59 Церий-144 Цезий-134 Цезий-137
		Газообразное	Тритий Иод-131 Стронций-90 Азот-16 Аргон-41 Сера-33 Сера-35 Иод-129 Ксеноны-133 Ксеноны-137 Углерод-14
	Активность продуктов деления и трансуранных элементов	Твердое	Америций-241 Стронций-90
		Жидкое	Цезий-137 Плутоний Церий-144 Тритий Цирконий-99 Иод-131 Иод-129
		Газообразное	Криптон-85 Тритий
Переработка топлива на заводах			

Вместе с тем они свидетельствуют о практической важности опережающей организации наблюдений за процессами тепловодопереноса, оценки их регионального влияния на геогидротермальный режим и развитие экзогенных геологических процессов. Результаты подобных исследований могут быть в дальнейшем положены в основу усовершенствования инженерно-геологического районирования для целей

оптимального размещения АЭС с учетом теплофизических параметров геологической среды.

Изменение геохимической обстановки. Современные атомно-энергетические комплексы представляют собой разветвленную цепь специфических промышленных объектов. Среди них выделяют: предприятия начального и среднего этапов (по добыче и переработке руд, обогащению урана, производству твэлов); сами атомные электростанции; предприятия по переработке отработанного топлива; объекты временного хранения и окончательного захоронения радиоактивных отходов.

В результате работы различных технологических узлов, ремонта или замены оборудования на предприятиях ядерного топливного цикла образуются газообразные, жидкие и твердые отходы, частично поступающие в окружающую среду и вызывающие определенное изменение радиационной, гидрохимической и геохимической обстановки.

В табл. 2 приведены возможные основные загрязнители окружающей среды, получаемые на различных этапах ядерного топливного цикла, при нормальной эксплуатации соответствующих предприятий [20].

Опыт работы отечественных АЭС свидетельствует о том, что их эксплуатационный режим создает незначительное радиохимическое воздействие на окружающую среду, не превышающее 2% от суммы космического, почвенного и электротехнического облучения. Сбросы радионуклидов в открытые водоемы невелики: менее 37 гБк долгоживущих нуклидов (кроме ^3H) в год на 1000 мВт установленной мощности. Наибольший вклад в эту активность вносят ^{134}Cs , ^{137}Cs , а также некоторые радионуклиды — продукты коррозии [1, 21].

Однако интенсивное строительство атомных энергетических объектов в Европейской части СССР, увеличение их мощности и приближение к крупным населенным пунктам требуют нового, более обоснованного подхода к прогнозу радиоэкологической обстановки, базирующейся на изучении закономерностей распространения и миграции радионуклидов в системе АЭС—геологическая среда, оценки деформаций природно-техногенных гидрохимических и геохимических полей.

Техногенез в различных видах его проявления сопровождается перемещением и перераспределением на земной поверхности огромной массы веществ, что влияет на устойчивость признанно важных естественных равновесий, а следовательно, и на надежность и долговременное функционирование промышленных и сельскохозяйственных инфраструктур. Еще большую опасность представляют выбросы во внешнюю среду высокотоксичных или радиоактивных веществ. Последние, будучи вовлечеными в геохимический круговорот в биосфере, будут оказывать свое негативное воздействие на живые организмы в период всего времени жизни (например, для ^{90}Sr и ^{137}Cs с периодами полураспада около 30 лет этого времени хватит на несколько поколений человека). Таким образом, учитывая возможность попадания радиоактивных веществ во внешнюю среду, необходимо иметь наготове модели мероприятий их быстрой локализации и захоронения. Для

разработки таких моделей необходимо знание закономерностей миграции элементов и их ядерных видов, форму нахождения в природной среде с учетом ее изменчивости под влиянием различных естественных и техногенных факторов. Мы должны четко представлять себе степень открытости или изолированности геологических подсистем, степень взаимосвязи подземных и поверхностных вод, особенности процессов самоочистки водоемов при катастрофических выбросах вредных веществ и т.д.

Изучение распространения радиоактивности во внешней среде в результате выбросов дает возможность накапливать опыт натурного геохимического поведения радионуклидов. В ходе изучения форм нахождения и миграции радионуклидов выяснились многие ранее неизвестные закономерности. В последнее время разработаны эффективные методы борьбы с "расползанием" радиоактивных загрязнений, причем в неблагоприятных по природным условиям районах.

Физика выбросов радиоактивности в совокупности с метеоусловиями может быть такова, что на различных расстояниях от АЭС могут формироваться пятна с преобладанием того или иного радионуклида. Например, отношение Sr/Cs, Cs/Ce, Sr/Ce для разного ядерного топлива различается в десятки раз. Причем форма нахождения одного и того же радионуклида (например, Cs, Sr, Ru) может быть различной — от ионной до кристаллической, не подвергающейся существенному выщелачиванию природными водами. Такая специфика в формах нахождения одного и того же радионуклида требует проведения детальных радио- и геохимических исследований, позволяющих разрабатывать эффективные мероприятия по локализации и предотвращению попадания этих нуклидов в естественные геохимические циклы.

В зоне гипергенеза (в биосфере) выделяются различные виды миграции элементов: атмосферная, водная, биологическая, механическая (техногенная). Сами элементы мигрируют в форме ионов, комплексных соединений, коллоидов и псевдоколлоидов, растворенных и свободных газов. На геохимических барьерах некоторые элементы теряют свою подвижность (например, Cs в глинистых почвах, торфяниках и пр.). Сознательное использование геохимических барьеров позволяет локализовать техногенное загрязнение окружающей среды, недопустить попадание их в природные циклы.

В условиях УССР наиболее распространены оксидные и апоксидные пластовые воды ландшафтов и кор выветривания с pH от 3 до 8,5. Доминирующую роль в миграции и концентрации большинства химических элементов играет карбонатная система, которая формируется в результате взаимодействия биосферы, гидросферы, литосферы и атмосферы.

В зоне гипергенеза наиболее распространенным является карбонатный геохимический барьер, который контролирует концентрацию щелочноземельных и многих других элементов. Он проявляется как в окислительной, так и в восстановительной обстановках.

Растворимость CaCO₃ в нормальных условиях при парциальном давлении CO₂, соответствующем его содержанию в атмосфере (0,03%), составляет 13 мг/л. Но при наличии в воде CO₂ растворимость карбо-

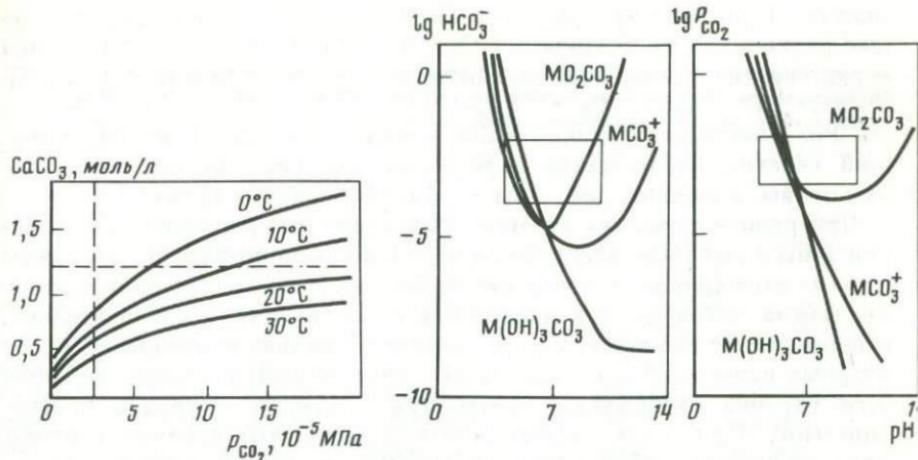


Рис. 5. Зависимость растворимости CaCO_3 от парциального давления CO_2 [2]

Рис. 6. Влияние концентрации HCO_3^- и парциального давления CO_2 на образование миграционных форм урана и трансурановых элементов

натов резко возрастает (рис. 5) [2]. В почвах вследствие биологической активности парциальное давление CO_2 может быть в 100 раз выше атмосферного и достигает нескольких десятых мегапаскалей.

Поэтому дождевая вода сама по себе обладает низкой реакционной способностью в контакте с карбонатными или силикатными породами, но при ее насыщении почвенным CO_2 она становится основным фактором химического выветривания горных пород, в том числе способствует карстообразованию.

Радиоактивные уран и плутоний ограниченно растворимы в подпочвенных глеевых условиях, но в кислородсодержащих водах в присутствии карбонатов приобретают высокую подвижность за счет комплексообразования. Последнее предотвращает осаждение или адсорбцию особенно урана и трансурановых элементов. Зависимость содержания этих элементов в воде от парциального давления CO_2 представлена на рис. 6.

Огромную роль в миграции металлов играют металлогорганические комплексы—хелаты, в которых молекулы органического соединения захватывают катион металла. Водорастворимые хелаты характерны для ландшафтов влажного климата. Например, в Полесье подавляющая часть Fe, Ni и Co мигрируют в виде хелатов. Металлы хелатов довольно подвижны, они могут усваиваться растениями, вступать в катионный обмен в почвах. Некоторые хелаты труднорастворимы, например соединения гуминовых кислот. Так, свинец накапливается в гумусовом слое почв и малоподвижен в аридных районах, но мигрирует в кислых водах Полесья.

Основное внимание следует уделять элементам (радионуклидам), которые переносятся водой в ионной, молекулярной или комплексной форме. Именно эти формы усваиваются биотой. В случае попадания радионуклидов в воду они усваиваются аналогично стабильным эле-

ментам. При этом практическое значение имеют только долгоживущие радионуклиды, например ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu . По степени поступления в растение из почвы радионуклиды можно расположить в ряд [21]: $^{89,90}\text{Sr} > ^{131}\text{I} > ^{140}\text{Ba} > ^{137}\text{Cs} > ^{106}\text{Ru} > ^{144}\text{Ce} > ^{90,91}\text{Y} > ^{147}\text{Pm} > ^{95}\text{Zn} > ^{95}\text{Nb} > ^{210}\text{Po}$. Поступление радионуклидов зависит от типа почвы. Наименьший переход наблюдается в регионах, где преобладают черноземные почвы, и наибольший — на торфянистых почвах.

При рядовых авариях атомных реакторов (без расплавления активной зоны и выбросов ядерного горючего во внешнюю среду) мы имеем дело с атомарным или молекулярным состоянием радионуклидов. Их форма нахождения в природных образованиях, а следовательно, в водах та же самая, что и продуктов глобальных выпадений после ядерных испытаний в атмосфере. В случае же выброса ядерного горючего картина оказывается чрезвычайно сложной и трудно прогнозируемой. При этом следует иметь в виду, что ядерное топливо, представляющее собой UO_2 с "начинкой" продуктов деления и трансурановых элементов, рано или поздно начнет переходить в миграционноспособные формы, несмотря на то, что произведение растворимости UO_2 равно 10^{-45} . Долгоживущие радионуклиды могут включиться в геохимические циклы, а также попадать в пищевые цепи, не говоря уже о загрязнениях атмосферы мелкодисперсными частицами (размерами от 50 Å и выше). Трансурановые элементы, являясь α-излучателями, чрезвычайно токсичны при респираторном поступлении в легкие человека (например, предельно допустимые концентрации (ПДК) по ^{239}Pu составляют 10^{-17} КИ/л воздуха). Поэтому для аварийных ситуаций необходимо иметь готовые рецепты пылеподавления. Те же радионуклиды, которые находятся в водорасторимой форме или легко выщелачиваются из ядерного горючего природными водами, следует локализовать путем устройства искусственных геохимических барьеров.

Подобные барьеры могут оказаться и весьма эффективными для локализации вредных отходов металлургических, химических, энергетических производств. Например, многие шахтные воды угольных месторождений являются сернокислыми (из-за содержания в углях пирита). Этот "кислый" водоотлив губит не только металлические конструкции, но и жизнь в водоемах. Но если на пути следования шахтных вод поместить карбонатные породы, то на этом техногенном щелочно-карбонатном геохимическом барьере будут задержаны практически все вредные соединения. То же самое можно создать вокруг промышленных предприятий с вредными выбросами и таким образом локализовать загрязнение.

Для южных районов Украины в связи с широким развитием орошаемого земледелия определенную значимость приобретает проблема изучения закономерностей переноса радионуклидов в системе оросительные воды—почва—сельскохозяйственные растения. В случае орошения возможно накопление радионуклидов в почве орошаемых угодий, что может как увеличить внешнее облучение человека на этих территориях, так и привести к возрастанию накопления радионуклидов в продуктах растениеводства.

Таблица 3

Сравнительная оценка концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в объектах внешней среды при поступлении от современных глобальных выпаданий и использовании загрязненных вод для орошения сельскохозяйственных угодий, Бк/кг(л)[21]

Объект	^{90}Sr		^{137}Cs	
	Глобальные выпадания	Орошение	Глобальные выпадания	Орошение
Вода открытых водоемов	0,004—0,04	0,004—0,04	0,004—0,04	0,04—0,4
Почва	400—4000	400—4000	400—4000	4000—40000
Зерно	0,04—0,4	0,004—0,04	0,04—0,4	0,04—0,4
Овощи	0,04—0,4	0,004—0,04	0,04—0,4	0,4—4,0
Молоко	0,04—0,4	0,004—0,04	0,04—0,4	4,0—18,5
Мясо	0,04—0,4	0,004—0,04	0,04—0,4	4—40
Трава	0,4—4,0	0,4—4,0	0,4—4,0	4—40

В табл. 3 дана сравнительная оценка концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в объектах внешней среды в результате современных глобальных радиоактивных выпаданий и возможных сбросов жидких отходов АЭС, удаляемых в водоемы, воды которых используются для орошения сельскохозяйственных угодий [21].

Приведенные данные показывают, что в отдельных видах сельскохозяйственной продукции концентрация ^{137}Cs , связанная с ведением орошаемого земледелия на территориях, прилегающих к АЭС, может на один-два порядка превысить уровни, связанные с глобальными выпадениями. В связи с этим в настоящее время требуется организация системы мониторинга за поведением радионуклидов в районах орошаемого земледелия с целью радиационно-гигиенического контроля сельскохозяйственной продукции, прогноза ее качества и разработки рациональных приемов ведения орошаемого земледелия, обеспечивающих получение продукции, отвечающей требованиям радиационной безопасности.

Накопленные данные о динамике формирования радиогеохимических и радиогидрогеологических полей позволяют сделать вывод о подвижности их границ, сложном комплексе внутренних процессов, обусловленных взаимодействием технологического режима выделений нуклидов АЭС в окружающую среду с метеорологическими, гидрологическими и геомиграционными факторами. К ним в основном относятся: переменная дальность аэрозольного переноса нуклидов по временам года, изменение скорости их перемещения в водных сбросах в меженный и паводковый периоды, зональное развитие участков с различной почвенно-грунтовой миграционной способностью (заболоченные, пойменные, водораздельные и др.). В связи с этим одной из нерешенных задач до последнего времени остается обоснование

вание объема и периодичности опробования основных элементов геогидросферы и сопряженных с нею сред — биомассы и донных отложений.

Интенсивная пространственно-временная изменчивость поля распределения техногенных радионуклидов обуславливает применение трендового анализа в качестве основного метода оценки и прогноза гидро-геохимической (геолого-экологической) обстановки. Отсутствие единых требований к анализу радиогеохимической обстановки и унифицированной методической базы работ затрудняет интерпретацию результатов, полученных в различных организациях.

Представляется целесообразным результаты наблюдений за миграцией нуклидов обрабатывать в едином банке данных с использованием современного комплекса программ функционального статистического и трендового анализа. В дальнейшем указанные данные должны быть использованы для построения комплексных моделей системы АЭС—геологическая среда. В Институте кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР с участием Мингео УССР, Минводхоза УССР, Госкомгидромета СССР, представителей геологических организаций АН УССР и др. на базе информационно-вычислительного комплекса "Дельта" создан банк данных и комплексная модель природных условий района аварии Чернобыльской АЭС, позволяющая решать большой класс прогнозных задач для выработки оптимальных природоохранных мероприятий и оценки оперативной обстановки для принятия обоснованных решений.

В заключение можно сказать, что гидро-геохимический мониторинг АЭС целесообразно базировать на использовании основных методических положений геохимического картирования, включающего принципы обоснования состава исследований, размеров сети опробования основных элементов геологической среды и сопряженных с ней биосфера и гидросфера.

В целом накопленный опыт оценки комплексного влияния АЭС на геологическую среду указывает на необходимость одновременного использования данных большого количества разнопрофильных работ организаций:

радиоэкологические исследования в районах эксплуатации АЭС, включая районы ведения орошаемого земледелия;

определяющие геолого-экологические исследования в комплексе предпроектных и изыскательских работ в районах размещения АЭС;

организация комплексных опытно-методических полигонов в районах влияния АЭС, увязка их с зонами промышленно-городских агломераций;

создание математических моделей систем АЭС—геологическая среда, разработка методов массоэнергопереноса в них как основы геолого-экологических прогнозов;

применение аэрокосмических методов изучения геогидрохимических, геолого-экологических и геодинамических параметров районов размещения АЭС;

разработка параметров предельно допустимых экологических нагрузок при размещении АЭС;

изучение геохимических барьеров и разработка мероприятий по

локализации распространения радионуклидов в природных системах при авариях на АЭС;

опережающая оценка площадей и геологических структур, пригодных для поверхностного складирования и подземного захоронения отходов АЭС;

обоснование мероприятий по повышению устойчивости водоснабжения;

прогноз сейсмичности и активизации современных геодинамических процессов в районах размещения АЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарев А.А., Дибобес И.К., Пюскиюлян К.И. Об оценке радиационной обстановки в районе расположения АЭС при неконтролируемом поступлении радионуклидов во внешнюю среду // Атом. энергия. 1986. Т. 60, вып. 2. С. 138—139.
2. Бондаренко Г.Н. Формирование изотопного состава карбонатной системы природных сред. Киев: Наук. думка, 1983. 150 с.
3. Боревский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М.: Недра, 1979. 320 с.
4. Борейко Л.Г., Белявский Г.А., Смирнов Р.А. Система автоматизации инженерно-геологических изысканий для строительства. Киев: Будивельник, 1983. 78 с.
5. Велихов Е.П. Советская программа по управляемому термоядерному синтезу // Вестн. АН СССР, 1982, N 10. С. 4.
6. Горловский Б.Л., Лисиченко Г.В., Негода Г.Н. Проблемы подтопления территории УССР в связи с выбором площадок под строительство атомных электростанций // Проблемы изучения и картирования подтопления территории Украинской ССР: Тез. докл. Симферополь, 1984. С. 29—31.
7. Горловский Б.П., Шехтман Л.М., Ливен Н.М. Тепловое загрязнение подземных вод при подтоплении площадок АЭС и ТЭС // Сооружение атомных электростанций. М., 1985. С. 6—9. (Информэнерго; N 10).
8. Дворов И.М., Дворов В.И. Освоение внутритерризменного тепла. М.: Наука, 1984. 160 с.
9. Еремеев И.С., Еременко В.А., Жирнов В.С. и др. Проблемы создания региональных систем контроля радиационной обстановки в зонах влияния объектов ядерной энергетики // Атом. энергия. 1986. Т. 60, вып. 1. С. 3—6.
10. Еремеев И.С., Еременко В.А., Жирнов В.С. и др. Гибридный мониторинг радиационной обстановки — перспективный подход к оперативному контролю и прогнозированию радиационного загрязнения среды выбросами и сбросами АЭС // Там же. 1985. Т. 59, вып. 5. С. 370—372.
11. Залесский Б.В. Методы исследований физико-механических свойств горных пород // Тр. ИГФМ АН СССР. 1958. Вып. 13. С. 3—9.
12. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеоиздат, 1984. 470 с.
13. Лялько В.И. Методы расчета тепло- и массопереноса в земной коре. Киев: Наук. думка, 1974. 132 с.
14. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Вышш. шк., 1967. 600 с.
15. Макухин А.Н. Энергетика: Тенденции развития // Аргументы и факты. 1986. N 29. С. 4—5.
16. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 360 с.
17. Патон Б.Е. Безопасность прогресса // НТР: Проблемы и решения. 1986. N 19(34). С. 4—5.
18. Петросянц А.М. Судьба АЭС // Правда. 1986. 31 авг.
19. Петросянц А.М. Ядерная энергетика. М.: Наука, 1981. 272 с.
20. Панасенков А., Толтыгов В. Важная задача развития атомной энергетики // Информ. бюл. СЭВ. 1983. N 6. С. 46—48.
21. Радиология орошаемого земледелия / Подред. Р.А. Алексахина. М.: Энергоатомиздат, 1985. 224 с.
22. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1973. 285 с.

23. Сергеев Е.М. Рациональное использование геологической среды // Природа, 1977. N 1. С. 85—93.
24. Сергеев Е.М. Инженерная геология — наука о геологической среде // Инж. геология. 1979. N 1. С. 3—19.
25. Тельдегин Ю., Яковлев Ю.В., Билимович Г.Н. Диагностика окружающей среды радиоаналитическими методами. М.: Энергоатомиздат, 1985. 192 с.
26. Чекунов А.В., Лисиченко Г.В., Яковлев Е.А. Проблеми вивчення, раціонального використання і охорони геологічного середовища Української РСР // Вісн. АН УРСР. 1985. N 12. С. 46—53.
27. Яковлев Е.А. Особенности и методика изучения теплового режима геологической среды в районах размещения атомно-энергетических объектов // Разведка и охрана недр. 1986. N 11. С. 40—45.
28. Яковлев Е.А. Основные направления охраны геологической среды при строительстве АЭС на территории УССР // Инж. геология. 1986. N 3. С. 16—19.
29. Яковлев Е.А., Литвак Д.Р., Кухар В.В. Применение принципов геоэнергетики при прогнозе региональных изменений гидрогеологических и инженерно-геологических условий // Геол. журн. 1986. N 1. С. 47—50.

УДК 556.3:624.131.1

В.М. Шестопалов, И.П. Зелинский, Е.Ф. Шнюков, Е.А. Яковлев

Актуальные проблемы гидрогеологии и инженерной геологии Украинской ССР

В настоящее время активизируются усилия исследователей по выявлению возможных негативных последствий хозяйственной деятельности человека на состояние окружающей среды. Достаточно упомянуть исследования по обоснованию строительства и эксплуатации водохозяйственной системы канала Дунай—Днепр, водохозяйственного комплекса Крыма, крупных водохранилищ, водозаборов и т.п.

Но все эти проработки, будучи весьма важными для конкретных проектов, имеют пока локальный характер как в региональном, так и во временном измерении. Развитие человеческой цивилизации неизбежно приводит к нарастанию антропогенных нагрузок на биосферу, атмосферу, гидросферу, литосферу планеты, деформируя их структуру, их взаимосвязи и присущие им процессы.

Поэтому наряду с решением частных проблем взаимодействия человека и окружающей среды необходима разработка общей проблемы коэволюции человечества и природы с учетом глобального возрастающего воздействия антропогенных нагрузок на все среды Земли. Экспоненциальный рост мощности нашей цивилизации превращает эту проблему в ведущую, ибо неуправляемое с позиций планетарной коэволюции человечества и природы развитие техногенеза может привести к катастрофическим последствиям как для биосферы в целом, так и для ее части — человечества. Например, хорошо известно, что экосистема тропического пояса, которая обеспечивает устойчивость биосферы всей планеты, жизнеспособна в очень узком диапазоне температурных параметров. Смещение температур в этом пояссе на 3—4° неизбежно приведет к катастрофическим последствиям для всей биосферы.

В истории Земли выявлено много примеров такого рода, когда небольшие количественные изменения параметров приводили к существенным скачкообразным качественным необратимым преобразованиям систем биотической и абиотической природы. Следовательно, эволюция системы человеческое общество — природная среда должно осуществляться в узком диапазоне ее параметров, оцениваемых и контролируемых человеком с позиций устойчивости экосистемы.

Таким образом, в полном соответствии с учением В.И. Вернадского преобразование биосфера и других взаимодействующих сред Земли в ноосферу переходит из разряда философских конструкций мировоззренческого характера в практическую задачу ближайшего будущего.

Разработка теории ноосферы — комплексная беспрецедентная по сложности проблема, объединяющая исследования абиотических, биотических и социальных процессов. В русле этой общей проблемы важное значение имеют исследования процессов эволюции геологической среды и ее наиболее подвижного компонента — подземной гидросферы под совместным влиянием естественных и нарастающих антропогенных факторов.

К специфическим особенностям подземной гидросферы, прежде всего ее верхней части, следует отнести, во-первых, значимость подземных вод для человечества как важнейшего полезного ископаемого, разностороннее использование которого постоянно возрастает, и, во-вторых, геологическую и экологическую активность подземных вод — весьма распространенного и относительно подвижного компонента литосферы, в значительной мере обуславливающего направленность и интенсивность многих геологических процессов в земной коре.

Активная реакция подземных вод на усиливающиеся антропогенные воздействия увеличивает влияние человека на остальные компоненты геологической среды.

С учетом этой двойкой роли подземных вод рассмотрим некоторые особенности современного состояния и тенденций изменения геологической среды в пределах Украинской ССР.

В народном хозяйстве нашей страны Украинская ССР имеет значительный удельный вес: ее мощная сырьевая база в сочетании с большими трудовыми ресурсами обеспечили создание многоотраслевого народнохозяйственного комплекса с многоотходным технологическим процессом крупных масштабов. На территории республики, составляющей около 3% территории страны, проживает 19% населения, добывается 50% железной руды, 30% угля, 20% минеральных удобрений. В пределах УССР разрабатывается свыше 4 тыс. месторождений из 7 тыс. по СССР. Промышленный комплекс Украины производит 40% стали, более 20% электроэнергии, значительную часть продукции химической, машиностроительной, станкостроительной отраслей. Валовый сбор основных сельскохозяйственных культур превышает 23%.

Промышленность республики выбрасывает в атмосферу и воду около 25% всего объема промышленных выбросов страны. Добыча полезных ископаемых приводит к ежегодному перемещению свыше 1 км³ горных пород и 1,8 км³ шахтных вод. В результате техногенное

воздействие на окружающую среду республики в 10—15 раз выше, чем по стране в целом.

В Украинской ССР запасы пресной воды в 8,5 раз меньше (в пересчете на одного жителя) мирового показателя и в 16,5 раз ниже среднего уровня для СССР.

Средний многолетний сток рек Украины составляет 87 млрд м³, а в маловодном году 95% обеспеченности не превышают 49,4 млрд м³. В пересчете на одного жителя по обеспеченности водой Украина занимает 12-е место среди союзных республик. При этом общее водопользование возросло с 1960 г. в 3,5 раза с 10 до 35 км³/год. Таким образом, значительная плотность населения, максимальная среди союзных республик концентрация водоемных промышленных и сельскохозяйственных производств, существенные потери воды, обусловленные несовершенством технологии производства и коммунального хозяйства, усиливающееся глобальное, региональное и локальное загрязнение гидросферы при весьма ограниченных и неравномерно распределенных по территории водных ресурсах определяют особую остроту проблемы устойчивого обеспечения республики водой при минимальных экономических и экологических потерях. В этих условиях особое значение приобретает максимальное использование подземных вод для целей водоснабжения.

В Украинской ССР частично или полностью удовлетворяют свои потребности в хозяйственно-питьевом водоснабжении за счет подземных вод столицы республики Киев, многие областные центры (Львов, Полтава, Ровно, Чернигов, Хмельницкий, Луцк, Харьков и др.), другие города и подавляющая часть сельского населения.

В связи с широким использованием подземных вод как полезного ископаемого для целей питьевого, хозяйственного, бальнеологического, промышленного и других видов водоснабжения оценка их эксплуатационных запасов является важнейшим видом гидрогеологических исследований. Она, как показывает опыт последних лет, должна включать не только гидрогеологические изыскания и технико-экономические сопоставления, но и экологическое обоснование возможности и целесообразности вовлечения подземных вод в сферу хозяйственной деятельности человека.

Необходимость экологического обоснования эксплуатации подземных вод является одной из важнейших задач планирования изменения водного баланса территории, гидрогеологических исследований, предваряющих разведку и включенных в состав разведочных работ.

Наиболее ответственный этап экологического обоснования — выбор источника водоснабжения. Практическая важность этого этапа видна на примере организации водоснабжения г. Черновцы. Здесь основное водоснабжение города было обеспечено водами р. Днестра при наличии значительных ресурсов подземных вод в долине р. Прута. Аварийная ситуация на Стебниковском калийном заводе [2], расположенном в бассейне Днестра, показала, что отсутствие комплексного экологического анализа обстановки привело проектировщиков к неверному инженерному решению, изменение которого потребует значительных дополнительных затрат.

Экологическое обоснование использования подземных вод включает оценку негативного и позитивного влияния их эксплуатации на компоненты окружающей среды.

Здесь необходимо подчеркнуть, что если при обосновании режима эксплуатации водоносного горизонта было допустимо применение так называемого инженерного запаса прогноза, неконтролируемо завышающего расчетные понижения уровней, то требования к точности оценок экологического обоснования должны быть значительно усилены. Поэтому возникает задача существенного повышения требований к детальности гидрогеологических исследований, к прогнозам влияния эксплуатации на окружающую среду и влияния антропогенных воздействий на гидрогеологические условия.

Негативное влияние эксплуатации подземных вод на окружающую среду обусловливается снижением уровней эксплуатируемого и смежных водоносных горизонтов. Этот процесс может приводить к:

изменению направленности и характера взаимосвязи поверхностных и подземных вод (перехвату естественной разгрузки подземных вод и части речного стока, части объема в озерах, прудах, водохранилищах);

увеличению мощности зоны аэрации и, как следствие, к ухудшению условий влагообмена в грунтах, угнетанию растительности, осушению колодцев в сельской местности;

развитию карстово-суффозионных процессов под влиянием увеличения интенсивности и изменения направленности водообмена;

оседанию земной поверхности под влиянием уменьшения взвешивающего гидростатического давления в массиве пород.

Положительное влияние эксплуатации подземных вод сводится к усилению их питания вследствие уменьшения испарения под влиянием возрастающей мощности зоны аэрации;

осушению естественно переувлажненных и искусственно подтопленных земель.

Антропогенные воздействия могут весьма существенно влиять на гидрогеологические условия и, следовательно, приводить к изменению возможностей эксплуатации подземных вод. Основные последствия влияния антропогенных воздействий на подземную гидросферу приводят к:

увеличению питания подземных вод (возрастанию ресурсов и запасов);

истощению подземных вод (уменьшению питания, снижению емкостных запасов);

ухудшению или улучшению качества подземных вод.

Антропогенные воздействия на подземную гидросферу могут быть значительны и разнообразны. Так, например, увеличение питания подземных вод нередко сопровождается ухудшением условий их дренирования, что обусловлено:

повышением базиса дренирования горизонтов в результате заилияния малых рек, строительства многочисленных прудов и водохранилищ;

слабоконтролируемым увеличением питания подземных вод при орошении;

неупорядоченным водопользованием в населенных пунктах, на предприятиях;
потерям при переброске стока;
агротехническими, лесомелиоративными, противоэрозионными мероприятиями.

Каскад днепровских водохранилищ и 24 тыс. водохранилищ на остальных реках республики привели к ощутимому подпору и повышению уровня грунтовых вод, которое имеет региональный характер.

Антропогенное питание водоносных горизонтов в зонах орошения в несколько раз превышает естественное. Потери в канализационных и водопроводных сетях городов нередко достигают десятков процентов их производительности, резко увеличивая питание подземных вод. Воздействие агротехнических, противоэрозионных, лесомелиоративных и других мероприятий приобрело региональный характер и усиливается с каждым десятилетием. В отдельных районах (в основном в пределах разрабатываемых месторождений полезных ископаемых) усиливается истощение подземных вод. Значительных размеров достигло региональное и локальное загрязнение подземных вод ядохимикатами, азотными и органическими соединениями, металлами и т.п.

Все эти процессы необходимо учесть и оценить при выполнении исследований по оценке ресурсов подземных вод, влиянию их отбора на окружающую среду, влиянию антропогенных воздействий на изменение гидрогеологических условий и оцениваемые ресурсы. В результате должны возрастать требования к методике, содержанию и объемам гидрогеологических исследований. Неизбежно должны увеличиваться расходы на выполнение поисково-разведочных работ. Поэтому, в частности, прием сопоставления стоимости кубометра разведенной воды с ранее полученными результатами в новых условиях становится несостоятельным.

Допустимые пределы изменения природной среды под влиянием эксплуатации должны предварительно формулироваться в задании и оцениваться в результате обоснования выбора варианта водоснабжения проектных организаций. Аналогично этому в задании должны отражаться возможные существенные количественные и качественные изменения водообменной геосистемы в области формирования эксплуатационных запасов подземных вод под влиянием антропогенных факторов.

Важной генетической составляющей эксплуатационных ресурсов являются естественные ресурсы подземных вод. До последнего времени большинством исследователей под естественными ресурсами подземных вод понимался обеспеченный питанием приток или отток подземных вод. При этом в общем плане обычно учитывалась их латеральная составляющая. В связи с обзорным региональным либо локальным на небольших участках характером исследований широко применялись гидрологические и балансовые методы оценки: между оцениваемым подземным стоком в реки и естественными ресурсами, по существу, ставился знак равенства. Эти понятия нередко использовались как синонимы, что приводило к представлениям о полной связи естественных ресурсов с реками.

Выполненный нами в ИГН АН УССР анализ закономерностей формирования естественных ресурсов, применяя методов их исследования и ограничений этих методов позволил расширить понятие "естественные ресурсы".

Естественные ресурсы — это суммарное возобновляемое питание подземных вод в естественных условиях, обеспечивающее в среднемноголетнем измерении их суммарную разгрузку.

Установлено, что в зависимости от характера гидрологических условий между естественными ресурсами и подземным стоком в реки в количественном выражении могут быть значительные различия. Подземный сток в реки, оценки которого наиболее широко использовались в водохозяйственных расчетах, может составлять лишь часть естественных ресурсов Украины и других равнинных гумидных территорий. Так, например, в Днепровском артезианском бассейне подземный сток в реки составляет в среднем менее 40% естественных ресурсов бассейна. Практическое значение полученных результатов становится очевидным, если учесть, что, с одной стороны, естественные ресурсы являются, как уже отмечалось, основной генетической составляющей эксплуатационных ресурсов подземных вод, а с другой — та их часть, которая разгружается в реки, определяет меженное питание рек и входит в водохозяйственные оценки речного стока. Следовательно, значительная часть естественных ресурсов, а в потенциале и эксплуатационных ресурсов, вообще выпадает из балансовых оценок водных ресурсов территории республики, а ущерб речному стоку от эксплуатации водозаборов подземных вод существенно завышается.

Работами многих исследователей доказано влияние многосторонней хозяйственной деятельности человека на формирование ресурсов подземных вод значительных территорий. В настоящее время можно достаточно надежно выделить локальные и региональные антропогенные факторы, непосредственное и опосредованное влияние которых на формирование ресурсов подземных вод возрастает с каждым десятилетием. Гидротехническое строительство, водная мелиорация, агротехнические мероприятия и др. приводят к изменению структуры водного баланса подземной гидросферы независимо от намерений человека. Интенсификация хозяйственного освоения крупных территорий постепенно усиливает и глобальные изменения условий формирования ресурсов подземных вод.

В этой связи представляется целесообразным подразделить ресурсы подземных вод на следующие виды:

- 1) естественные ресурсы (формируются без существенного влияния антропогенных факторов);
- 2) естественно-антропогенные ресурсы (на их формирование и количественное распределение ощутимое влияние оказывают антропогенные воздействия);
- 3) антропогенные ресурсы (полностью или в основном формируются в результате общих водохозяйственных мероприятий);
- 4) искусственные ресурсы (формируются в результате целенаправленных мероприятий).

В соответствии с общей тенденцией эволюции верхней части гидросферы естественные ресурсы постепенно переходят в разряд естественно-антропогенных, а доля собственно антропогенных ресурсов в общем балансе возрастает. Эта эволюция ресурсов является неизбежным усиливающимся глобальным процессом. Необходимость исследования периодической оценки прогноза его и управления им постепенно становится одной из наиболее актуальных задач. В пределах Украинской ССР, где влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду особенно значительно, антропогенные воздействия приводят как к уменьшению ресурсов подземных вод, так и к их возрастанию.

В 70-х годах организациями Мингео УССР, АН УССР, Минвуза УССР была выполнена региональная оценка перспективных эксплуатационных ресурсов подземных вод территории республики. Суммарная их величина составила 57,2 млн м³/сут (~21 км³/год).

Наибольшие эксплуатационные ресурсы выявлены в Черниговской, Ровенской, Львовской, Тернопольской, Полтавской, Сумской и Херсонской областях. Наихудшая обеспеченность подземными водами отмечается в Одесской, Николаевской, Кировоградской, Житомирской, Днепропетровской, Винницкой областях.

В республике разведано 811 месторождений подземных вод, эксплуатационные запасы которых составляют 15,2 млн м³ сут (5,5 км³/год).

Новый этап изучения ресурсов подземных вод, начавшийся в 80-е годы, определяется необходимостью более полного изучения и учета источников формирования ресурсов, оценки влияния эксплуатации подземных вод на окружающую среду, оптимизации схем водоснабжения, влияния антропогенных воздействий на условия формирования и эволюцию ресурсов подземных вод.

Задачи нового этапа требуют интенсификации исследований в следующих основных направлениях:

1) активизация исследований нарушенного режима подземных вод в районах крупных действующих водозаборов и водопонижений;

2) расширение комплексирования методов в полевых экспериментальных исследованиях;

3) организация специальных экспериментальных полевых исследований в натурных условиях;

4) расширение исследований на имитационных моделях с целью повышения степени адекватности схематизации природных условий натуре, разработки вариантов взаимодействия различных факторов в условиях необходимости комплексирования задач оценки ресурсов, изучения влияния эксплуатации подземных вод на окружающую среду, антропогенных факторов на изменение ресурсов подземных вод;

5) совершенствование долгосрочных прогнозов на основе их сопоставления с данными эксплуатации и натурных экспериментов.

Возрастает актуальность сверхдолгосрочных перспективных прогнозов, обеспечивающих разработку перспективной стратегии оптимального освоения водных ресурсов на основе минимизации негативных изменений окружающей среды с учетом взаимодействия ресурсов формирующих антропогенных и естественных факторов в динамике.

Следует подчеркнуть, что исследования в этих направлениях ведутся недостаточно интенсивно. Особенное отставание наметилось в проведении экспериментальных работ на натурных полигонах и в презентивных бассейнах.

По оценкам 1982 г., в УССР было использовано 29,7 км³ воды, причем 14,7 км³ составило безвозвратное потребление. Отбор подземных вод равен 0,6 км³, или 20% общего водопотребления и 28% перспективных эксплуатационных ресурсов подземных вод.

В принятых оценках состояния водных ресурсов республики эксплуатационные ресурсы подземных вод учитываются лишь в размере 2,2 км³, которые определены как несвязанные с речным стоком в пределах фактически отбираемого объема. В результате такой оценки роли подземных вод в водообеспечении потребностей республики, а также планирования значительного роста безвозвратного водопотребления к 2000 г. (35 км³ при общем принятом объеме 56 км³) делается вывод о значительном дефиците водных ресурсов в республике и на перспективу до 2000 г. Между тем анализ структуры эксплуатационных ресурсов подземных вод показывает, что с учетом 50% возврата использованных ресурсов в речную сеть дополнительно к принятым величинам может быть добавлено более 7 км³ воды. Кроме того, эксплуатация связанных с речным стоком подземных вод также не приводит к одновременному изъятию из речной сети соответствующего количества воды. Влияние на расход рек нередко оказывается через многие годы, а до этого сток рек увеличивается благодаря сбросу использованных подземных вод. Умелое сочетание эксплуатации с искусственным восполнением подземных вод может существенно повысить прибавку подземных вод в водный баланс республики, доведя ее до 10—12 км³. Нельзя не учитывать и возможность форсированной эксплуатации подземных вод в годы прохождения минимального речного стока.

Недооценка роли подземных вод в обеспечении хозяйствственно-питьевого водоснабжения подтверждается следующими цифрами. Из 3,1 км³ воды, поданных потребителям для хозяйствственно-питьевого водоснабжения, подземные воды составили лишь 1,1 км³ (т.е. 35,5%). Из 811 разведанных для хозяйствственно-питьевого водоснабжения месторождений подземных вод с утвержденными запасами 5,6 км³ эксплуатируется 480 месторождений с водоотбором 2 км³. Для сравнения отметим, что доля подземных вод в общем балансе хозяйствственно-питьевого водоснабжения населения СССР за последние 20 лет возросла с 15 до 70%. Анализ опыта экономически развитых зарубежных стран показывает, что во многих из них подземные воды являются основным источником водоснабжения городов (Бельгия, Дания, Швейцария, Италия, ГДР, ФРГ, Франция, Венгрия и др.).

В нашей республике с большим трудом преодолевается практика развития водоснабжения городов, частично или полностью обеспеченных на перспективу запасами подземных вод, из поверхностных водоисточников (Киев, Черкассы, Полтава и др.).

Наряду с необходимостью уменьшения энергоемкости и металлоемкости продукции как важнейших показателей эффективности

производства назрела серьезная потребность в широком применении и снижении такого показателя, как водоемкость продукции. Сопоставление этого показателя за последние 30 лет в США и в нашей республике показывает, что в США с 1970 по 1985 г. показатель водоемкости снизился в два раза. У нас этот показатель возрос на 12%. На перспективу до 2000 г. в США планируется дальнейшее абсолютное уменьшение потребления воды и, следовательно, снижение водоемкости производства. В нашей республике намечается дальнейшее существенное увеличение потребления воды и сохранение водоемкости производства на современном уровне.

Отсутствие серьезных разработок и планов снижения водоемкости производства, недооценка возможностей использования подземных вод для водоснабжения предопределяют возникновение дефицита в водном балансе республики на перспективу, приводят к необходимости реализации крупных долгостоящих гидротехнических проектов, создают угрозу вывода из строя систем водоснабжения многих городов в случае возникновения аварийных ситуаций на Днепре, Днестре и других реках, приводят к активизации негативных последствий, связанных с неэкономным использованием воды. Думается, что эффективное использование водных ресурсов — одна из важнейших проблем, вытекающая из решений XXVII съезда КПСС, для оптимального решения которой нужна существенная перестройка в системе исследования, планирования, комплексного использования действенного контроля и управления. Вопросы изучения и рационального использования ресурсов подземных вод относятся к числу наиболее актуальных, но не единственных в комплексе гидрогеологических проблем на Украине. Интенсивное и разнообразное хозяйственное освоение территории республики вызывает существенные изменения в подземной гидросфере. Как уже отмечалось, наиболее значительные влияния оказывают мелиорация земель, гидротехническое строительство и регулирование поверхностного стока, развитие городских и промышленных агломераций, добыча полезных ископаемых горными выработками и др.

При этом антропогенные воздействия по характеру влияния на подземную гидросферу могут быть подразделены на группу факторов, обусловливающих нарушение естественного водного баланса (условий питания и разгрузки подземных вод), и группу факторов, приводящих к нарушению естественных условий формирования качества подземных вод.

Нарушение естественного водного баланса территории обусловлено изменением соотношения питания и разгрузки подземных вод под влиянием техногенных факторов. В результате происходит истощение подземных вод или подтопление территории в связи с влиянием избыточного питания грунтового горизонта или зоны азрации.

Наиболее развито истощение подземных вод в районах шахтной или карьерной добычи полезных ископаемых. К таким районам в пределах республики в первую очередь относятся Донбасс, Криворожский железорудный бассейн, серные месторождения Предкарпатья, Днепровский буроугольный бассейн, Белозерское железорудное место-

рождение и др. Интенсивный отбор подземных вод Запорожским железорудным комбинатом в объеме до 15 млн м³/год при понижениях уровня до 200 м и более привел к развитию депрессии и сработке запасов подземных вод Запорожской области на площади более 10 тыс. км². В результате добычи бурых углей карьерным способом в Днепровском бассейне производится отлив более 80 млн м³/год подземной воды хорошего качества.

В связи с интенсификацией отбора подземных вод для сельскохозяйственного водоснабжения в 70-х годах наметилось истощение запасов основного неогенового водоносного горизонта в Степном Крыму. Снижение уровней этого горизонта привело к загрязнению подземных вод в результате перетока соленых вод из смежных горизонтов на площади около 5000 км² со среднегодовой скоростью до 300—500 км².

Безусловно, значительная часть водоотлива, связанного с добывкой полезных ископаемых, приводящая к чрезмерному снижению уровней подземных вод, является неизбежной. Однако здесь особенно актуальными становятся вопросы оптимального использования откачиваемых вод различной минерализации при общем дефиците воды хорошего качества в этих районах.

Довольно сложные гидрогеологические задачи возникают в районах, где после отработки месторождений отключаются дренажные системы, закрываются шахты, в результате чего может происходить активный подъем соленых вод и засоление пресных подземных вод.

В последние годы на Украине особенно остро всталась проблема борьбы с подтоплением сельскохозяйственных земель, территорий городских агломераций, сел. Активное подтопление территории отмечено в Одесской, Крымской, Днепропетровской, Николаевской, Херсонской областях. Подтопление отмечено на многих тысячах гектаров пахотных земель, в 200 городах и поселках, в сотнях сел. В последние 10—15 лет подъем уровня грунтовых вод и влагонасыщения пород зоны аэрации во многих городах и на промплощадках принял устойчивый характер. Подтопление фиксируется в Одессе, Днепропетровске, Херсоне, Ворошиловграде, Харькове, Симферополе, Джанкое, Керчи, Феодосии и др. Развитие процессов подтопления в основном связано с:

неудовлетворительным состоянием эксплуатации водохозяйственных объектов, гидротехнических сооружений и мелиоративных систем;

отсутствием должного учета и контроля за использованием воды, несоблюдением норм водопользования при орошении земель и работе других объектов, завышением этих норм;

отставанием строительства и ввода в эксплуатацию дренажных систем, коммунальных, промышленных и ливневых канализаций и других сооружений;

неудовлетворительным состоянием малых рек, невыполнением в необходимых объемах работ по их очистке, реконструкции водотоков.

Региональными факторами подтопления стали 24 тыс. водохранилищ и прудов, созданных на больших и малых реках республики

и занимающих более 2% ее территории. Среди них наибольшее влияние на подтопление земель оказывают водохранилища на Днепре. Каскад Днепровских водохранилищ имеет важное народнохозяйственное значение не только для Приднепровья, но в целом для востока и юга Украины, особенно для Криворожья, Донбасса, Крыма, куда намечается перебросить до 50 км³/год днепровской воды по каналам Днепр—Кривой Рог, Днепр—Донбасс, Днепр—Ингулец, Каховскому, Северо-Крымскому. Регулирование стока Днепра водохранилищами позволит оросить около 3 млн га земель вместо 100 тыс. га без них, решить комплекс энергетических, транспортных, рыбохозяйственных, коммунальных, рекреационных и других водохозяйственных задач.

Создание каскада Днепровских водохранилищ в равнинных условиях Украины вызвало изменение гидрогеологических, гидрологических, инженерно-геологических условий, приведшее к затоплению и подтоплению пониженных участков территории. В процессе строительства и эксплуатации водохранилищ построено значительное количество защитных сооружений от затопления и подтопления, включающих линейные и вертикальные дренажи, насосные станции, дамбы и т.п. В результате защищено около 600 км берегов, 200 тыс. га земель, 190 населенных пунктов. Тем не менее значительные территории в зоне влияния водохранилищ подтоплены.

Следует отметить, что прогноз подпора подземных вод водохранилищами и проектирование защитных сооружений выполнялись преимущественно с использованием аналитических зависимостей и аналогового моделирования для условий установившегося движения грунтовых вод в однослоиной системе. Между тем, как показывает анализ изменения гидрогеологических условий, в процессе распространения влияния водохранилищ наблюдается существенно неустановившийся режим подпора, инфильтрационного питания и взаимодействия водоносных горизонтов. Необходимы специальные исследования по оценке сходимости прогнозов и фактического изменения уровней подземных вод. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что далеко не во всех случаях защитные сооружения ликвидируют подтопление земель в соответствии с проектными проработками. Несмотря на проведение защитных мероприятий, подтопление наблюдается в пределах многих населенных пунктов и массивов.

В выполненных для условий стационарного режима прогнозных проработках в основном изучалось распространение и характер подпора подземных вод в прибрежной зоне грунтового водоносного горизонта. Процесс формирования подпора грунтовых вод происходит крайне медленно в связи со значительной емкостью песчаных аллювиальных отложений. Так, по данным Черкасской гидрогеологической экспедиции Минводхоза УССР подпор грунтовых вод в районе Кременчугского водохранилища за 20 лет прослежен на расстоянии 10 км в глубь берега. Однако в прогнозных проработках не учитывалось влияние водохранилищ на всю взаимосвязанную этажную систему водоносных горизонтов и слабопроницаемых слоев. Между тем распространение подпора в напорных горизонтах осуществляется значи-

тельно быстрее и на большие расстояния, чем в грунтовых водах. Нами выполнено исследование условий взаимосвязи этажной системы водоносных горизонтов с резким в пределах Днепровского артезианского бассейна методом моделирования, которое показало, что влияние Днепра и его притоков оказывается на значительные глубины. Темп распространения влияния водохранилищ зависит от значений коэффициентов уровнепроводимости и пьезопроводимости грунтовых и напорных вод. Для сравнения темпов распространения подпора отметим, что значения коэффициентов уровнепроводимости грунтовых вод составляют 10^2 — 10^3 м²/сут, а коэффициенты пьезопроводимости напорных вод достигают 10^4 — 10^6 м²/сут, т.е. в зависимости от степени связи горизонтов в системе возрастают в десятки и сотни раз.

Быстрое распространение подпора в напорных горизонтах приводит к увеличению их напоров и разгрузки в вышележащие грунтовые горизонты в близрасположенных долинах малых рек. В связи с опережающим повышением пьезометрических уровней напорных горизонтов уменьшается или прекращается нисходящая разгрузка грунтовых вод междуречий в напорные горизонты, происходит подъем уровней грунтовых вод. В пониженных участках подов, локальных понижений, долин рек этот процесс может приводить к подтоплению земель на расстояниях, значительно превышающих зоны распространения подпора, установленные на выбранный момент времени в грунтовом горизонте, примыкающем непосредственно к водохранилищу.

Все эти обстоятельства свидетельствуют о необходимости более углубленного исследования влияния водохранилища на изменение закономерностей водообмена в этажной системе водоносных горизонтов в региональном масштабе. Даже предварительный анализ показывает, что водохранилища приводят к нарушению естественного водного баланса в региональных масштабах, накоплению естественных запасов подземных вод, уменьшению темпов водообмена в системе напорных горизонтов и увеличению водообмена грунтового горизонта с поверхностью. В результате, кроме подтопления земель, происходит активизация процессов просадки, карстования в верхних зонах и нарастание застойности в режиме напорных горизонтов.

Во многих случаях усиливающееся в последние годы подтопление земель увязывается с увеличением атмосферных осадков. Действительно, за пределами зоны сезонных изменений уровня грунтовых вод, связанных с колебаниями столба воды в водохранилищах, отмечаются многолетние изменения уровней грунтовых вод, которые коррелируются с суммой годовых осадков за ряд лет. При этом указанные изменения происходят на новом высотном положении уровней, обусловленном подпором водохранилищ.

Рассмотрим, например, некоторые режимные створы в зоне влияния Кременчугского водохранилища. В районе г. Черкассы за период с 1965 по 1980 г. отмечается три периода с различными суммами атмосферных осадков.

При годовой норме осадков 494 мм в 1966—1971 гг. среднегодовая

сумма осадков составила 579 мм, в 1972—1975 гг. — 415 мм и 1976—1980 гг. — 589 мм. Таким образом, среднегодовая сумма осадков за эти периоды колебалась относительно нормы в среднем на 15—19%, что в зависимости от водоотдачи пород в среднем обеспечивает 0,5—1 м подъема уровней грунтовых вод в песчаных отложениях. Относительный фактический подъем уровней по отдельным точкам достиг 2—3 м и продолжает увеличиваться.

Режимные данные по створу в пределах Днепрово-Тясминского водораздела свидетельствуют об устойчивой тенденции к подъему уровней грунтовых вод в течение 1960—1980 гг. при изменении суммы среднегодовых осадков по отношению к норме в основном в пределах интервала 40—60% обеспеченности. Таким образом, в зависимости от особенностей гидрогеологических и техногенных условий многолетние изменения уровенного режима грунтовых вод происходят различным образом.

Однако в связи с подпором водохранилищами тенденция повышения уровня грунтовых вод при атмосферных осадках, близких в среднем к многолетней норме, приводит к нарастанию угрозы подтопления земель в перспективе. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что даже при годовых осадках всего на 10—20% выше нормы мы наблюдаем активное увеличение подтопления не только на незащищенных территориях, но и в пределах защищенных массивов. Следовательно, увеличение осадков на 30—35% выше нормы может создать бедственное положение на этих массивах. В этой связи необходимость углубленного изучения закономерностей формирования подземных вод под влиянием водохранилищ и других техногенных воздействий является весьма актуальной.

Оценка полного комплекса произошедших изменений и с их учетом долговременные прогнозы, выполненные на основе этих исследований, позволят:

- 1) более обоснованно проектировать и создавать системы защитных сооружений в прибрежной зоне водохранилищ;
- 2) своевременно предусматривать рациональные комплексы защитных мероприятий в зоне регионального влияния водохранилищ;
- 3) своевременно выполнять исследования по изучению изменения геологической среды и их охране.

Создание каскада Днепровских водохранилищ привело к повышению местных базисов дренирования подземных вод в региональных масштабах, к изменению составляющих баланса подземных вод в сторону увеличения питания грунтовых вод на участках с неглубоким их залеганием, в частности на подтопленных землях. Очевидно, что одним из мощных способов противодействия этим тенденциям в региональном балансе подземных вод является широкое использование местных подземных вод для водоснабжения. Следует, однако, отметить, что в зоне влияния Днепровских водохранилищ, где сосредоточены особенно значительные запасы подземных вод, процент их использования ниже, чем в целом по республике.

Необходимость более активного использования подземных вод для целей водоснабжения определяет целесообразность совмещения сква-

жинными дренажами функций водозаборов и защиты земель от подтопления.

В свете современных требований к рациональному использованию и охране геологической среды вряд ли можно признать нормальным наметившийся разрыв в оценке и прогнозе гидрогеологических и инженерно-геологических условий в зоне влияния Днепровского каскада водохранилищ. Следует отметить, что нет четкого анализа взаимосвязи происходящих гидрогеологических и инженерно-геологических процессов.

Изложенные предложения свидетельствуют о необходимости:

1) более углубленного изучения закономерностей регионального долговременного влияния Днепровских водохранилищ на режим многоэтажной геофильтрационной системы Днепровского бассейна;

2) разработки комплексного прогноза изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий геологической среды зоны Днепровского каскада водохранилищ, создания опытно-производственных полигонов, региональной и локальной сети режимных наблюдений, геофизических, лабораторных, аэрокосмических и других исследований;

3) разработки региональных и детальных схем оптимизации водного режима и инженерно-геологической обстановки в пределах геофильтрационной системы р. Днепр с учетом реального взаимодействия и перераспределения поверхностных и подземных вод, оценки происходящих изменений геологической среды и др.

Эти схемы должны базироваться на необходимости:

а) увеличения использования подземных вод для водоснабжения в районах непосредственного и опосредованного влияния водохранилищ на подтопление земель путем создания водозаборов, совмещающих функции защиты земель от подтопления и водоснабжения крупных потребителей и орошения земель;

б) уменьшения и прекращения внешней водоподачи при наличии местных ресурсов подземных вод с целью уменьшения деформации естественной структуры водного баланса;

в) первоочередного внедрения и апробации этих предложений на наиболее перспективных участках (районы Черкасс, Киева, Каменско-Днепровского массива, Краснознаменская оросительная система, Полтава и др.).

Изменение условий формирования качественного состава подземных вод происходит в пределах значительной части территории республики. К региональным факторам их загрязнения относятся, как уже отмечалось, промышленные выбросы в атмосферу, воду, почвы. В результате работы промышленных предприятий, энергетических объектов, транспорта резко возросло поступление в окружающую среду многих металлов (среди них таких токсичных, как ртуть, свинец, медь и др.) и соединений (см. таблицу).

Повышенные концентрации этих металлов фиксируются в воздухе и почве на расстояниях до 100 км и более от крупных промышленных центров, их производящих.

Весьма распространены стали так называемые кислотные дожди,

Поступление химических элементов в окружающую среду в промышленном городе [1]

Химический элемент	Коэффициент концентрации относительно фона			Химический элемент	Коэффициент концентрации относительно фона		
	Выпадение из атмосферы	Твердые отходы	Сточные воды		Выпадение из атмосферы	Твердые отходы	Сточные воды
Ванадий	76,2	2,7	—	Стронций	25	14	1,7
Хром	80	154	5,4	Кадмий	769	330	11,0
Марганец	36	1,7	2,8	Свинец	313	74	4,5
Никель	156	26,3	3,1	Ртуть	466	—	—
Кобальт	74	26,4	1,9	Цирконий	23,7	—	—
Цинк	374	189	12,8	Вольфрам	866	735	—
Медь	274	208	7,4				

вызванные поступлением в воздух значительного количества сернистого ангидрида. Они приводят не только к снижению урожаев ряда сельскохозяйственных культур, но и влияют на геохимические процессы формирования состава подземных вод.

К региональным факторам загрязнения подземных вод относятся средства защиты растений и минеральные удобрения. Широко распространилось в связи с их применением азотное загрязнение подземных вод. Но особые опасения вызывает региональное проникновение пестицидов и их производных в подземную гидросферу. Практически во всех регионах Украины в грунтовых и ряде напорных водоносных горизонтов, имеющих важное значение для водоснабжения и бальнеологических целей, зафиксированы упомянутые соединения.

В этой связи необходимо отметить, что в системе управления качеством окружающей среды особую роль играют показатели и стандарты чистоты элементов биосфера. Гигиенические нормативы содержания пестицидов в почве должны обеспечивать чистоту пищевых продуктов, атмосферного воздуха, питьевой воды. Однако в реальной обстановке они гарантируют качество указанных объектов только при миграции пестицидов в экологических системах почва—воздух, почва—вода, почва—растения. В тех случаях, когда миграция пестицидов проходит по длинным трофическим цепям, имеет место аккумуляция этих соединений в последующих от почвы звеньях, в том числе в подземных водах. Вызвано это тем, что из всех звеньев циркуляции пестицидов в биосфере наименее изучено и учтено в соответствующих нормативах и практике взаимодействие в такой сложной многокомпонентной системе, как пестицид—почва—подземная гидросфера.

Анализ данных литературы и материалов наших исследований позволяет установить значительное различие в поведении одного и того же пестицида в поверхностном и пахотном слоях почвы, в

зоне аэрации и зоне насыщения. В анаэробных условиях на глубине ниже зоны аэрации увеличивается длительность сохранения вещества на 1—2 порядка, меняются коэффициенты сорбции и десорбции пестицидов, скорости горизонтальной и вертикальной миграции. В результате создаются предпосылки к распространению и накоплению вредных веществ в подземной воде хозяйствственно-питьевого назначения.

Поэтому один из путей совершенствования нормирования в почве пестицидов — исследование специфики их поведения в системе почва—подземная гидросфера. Для его осуществления необходимо разработать методики проведения работ по изучению миграции и деградации пестицида в водообменной геосистеме, моделированию процессов взаимодействия в системе вода—порода. Особое внимание должно быть уделено варьированию параметров таких факторов, как почвенно-климатические условия, геологические и гидрогеологические особенности регионов и т.д. Полученная информация позволит прогнозировать распространение и накопление пестицидов в подземной гидросфере и путем регулирования допустимого содержания пестицида в почве управлять качеством подземной воды.

Крупными источниками локального загрязнения подземных вод являются накопители и отстойники предприятий химической, нефтеперерабатывающей, metallургической промышленности, многочисленные энергетические объекты, крупные животноводческие комплексы, отдельные предприятия пищевой промышленности (в частности, сахарные заводы). Их негативное влияние особенно значительно в Донбассе, Криворожье, Нижнем Приднепровье, включая районы Днепропетровска, Днепродзержинска, в Запорожье, Предкарпатье, восточном Приазовье. Значительная опасность загрязнения поверхностных и подземных вод создается при возникновении аварийных ситуаций на промышленных предприятиях и энергетических объектах. Как уже упоминалось, в сентябре 1983 г. в бассейне р. Быстрицы, притоке Днестра, произошел прорыв дамбы отстойника с выбросом из него отходов калийного производства. В результате были загрязнены упомянутые реки, подземные воды, понесли убытки колхозные хозяйства ряда районов Приднестровья [2].

Целый ряд мероприятий был выполнен для защиты поверхностных и подземных вод в районе влияния аварии на Чернобыльской АЭС.

Добыча полезных ископаемых, строительство промышленных, энергетических, гидротехнических, сельскохозяйственных и коммунальных объектов, транспортных коммуникаций приводят к неизбежному изменению естественных условий, к нарушению геодинамического и водного режимов, которые обусловливают активизацию экзогенных геологических процессов [3].

Многолетними наблюдениями в районах активной хозяйственной деятельности (Крым, Предкарпатье, Донбасс, Кривбасс и др.) выявлено свыше 2,5 тыс. оползней, 2 тыс. карстовых и карстово-суффозионных объектов. Площади проявления ряда экзогенных геологических процессов за последние 10—15 лет возросли в 1,5—2 раза, что

усилило их негативное влияние на работу промышленных, коммунальных объектов, АЭС, транспортных коммуникаций.

Значительные площади земельных угодий подвержены ветровой и водной эрозии. Активизация эрозионных процессов зафиксирована в районах проведения мелиоративных работ в Припятском Полесье. Строительство транспортных коммуникаций, распашка склонов долин рек приводят к значительному росту водной эрозии в Волыно-Подольской, Приднепровской, Средне-Русской возвышенности, в Предкарпатье и Карпатах.

На территории республики в пределах глубин до 100 м широко развиты (более 40% площади) воднорастворимые карбонатные, гипсовые, ангидритовые, соляные породы, в которых проявляются карстовые процессы. Усиливающееся освоение земной поверхности и недр в карстовых областях Украины (Волыно-Подolia, Предкарпатье, значительная часть Причерноморья и Крыма, отроги Средне-Русской возвышенности на северо-востоке республики, часть Донбасса и Приазовья) приводит к значительной техногенной активизации карста и резкому снижению прочности горных массивов. Особенно активизируются процессы карстообразования в районах разработки полезных ископаемых, сопровождающей значительными водопонижениями, а также на участках утечек воды (АЭС, ТЭЦ, водоемкие предприятия), перекрытия плотинами, дамбами, насыпями, стенками естественных путей движения поверхностных и подземных вод, на участках существенного изменения теплового режима недр под влиянием ТЭЦ, АЭС, термо- и влагоизоляционных покрытий. Наиболее активны проявления техногенного карста в Предкарпатье и южной части Подольской возвышенности, где развиты гипсо-ангидритовые и серные отложения и в больших масштабах производится их добыча.

Применение технологии подземной выплавки серы, являющейся менее трудоемкой, чем шахтная или карьерная разработка, приводит к наибольшему усилению карстового процесса. Развитию карста и сопровождающих его суффозионных процессов способствуют мелиоративные работы на юге Украины и в Полесье.

Активизации абразионных процессов на побережье Черного и Азовского морей, переработке берегов в бассейнах крупных рек способствовали использование для строительных целей пляжных наложений, промышленная добыча донных песков в таких районах, как южный берег Крыма, а также создание системы крупных водохранилищ на реках Днепр, Днестр, Северный Донец и др.

Таким образом, даже приводимый здесь беглый обзор убеждает в том, что функционирование хозяйственного комплекса Украинской ССР происходит в условиях нарастания негативных изменений геологической среды, затрудняющих ее освоение. Планами развития народного хозяйства страны до 2000 г. на территории Украины предусматривается дальнейшее развитие атомной энергетики, горнодобывающей, химической, металлургической, легкой, пищевой промышленности, сельскохозяйственного производства с дальнейшим расширением строительства мелиоративных систем. При существующей технологии строительства, добычи полезных ископаемых, промышленного и сель-

скохозяйственного производства их негативное влияние на водные ресурсы в целом и геологическую среду может возрасти на 30—40%.

На примере Украинской ССР видно, что, несмотря на принимаемые в настоящее время меры по уменьшению негативного влияния техногенных нагрузок на окружающую среду, происходит дальнейшее нарастание кризисных явлений в биотическом и абиотическом компонентах экосистемы наиболее эксплуатируемых регионов республики. Поэтому одним из основных направлений усилий общества по предотвращению экологического кризиса, обусловленного интенсивным накоплением негативных техногенных изменений в окружающей среде, является создание принципиальных решений в технологии общественного производства, обеспечивающих преобразование существующих предприятий в безотходные, снижение или общую стабилизацию (при увеличении национального продукта) их энергоемкости, водоемкости, материалоемкости.

На пути к разработке безотходных технологий в области снижения водоемкости производства необходимо создание экологически безвредных бессточных предприятий с замкнутыми водооборотными циклами. Замкнутые циклы водоснабжения могут быть распространены и на оросительные системы. Применяемая при этом водоподготовка должна обеспечивать эффективное многоразовое использование и очистку коллекторно-дренажных вод.

Наряду с этим в области гидрогеологии и инженерной геологии назрела необходимость существенной перестройки, укрепления и расширения научных и производственных работ. Крайне необходимо укрепление и расширение научной базы этих исследований в системе Академии наук УССР. Целесообразно дальнейшее укрепление гидрогеологической и инженерно-геологической служб в системе Мингео УССР, Госстроя УССР, Минводхоза УССР. В частности, в Мингео УССР целесообразна проработка вопроса о создании гидрогеологических производственных объединений и экспедиций.

Нуждается в существенном улучшении подготовка специалистов в области комплексного изучения, охраны и рационального использования геологической среды как одного из основных компонентов экосистем. Требуется создание юридического обоснования выделения территорий санитарной геологической среды и ограниченного хозяйственного использования.

Должны быть обеспечены более широкая пропаганда и воспитание населения в духе бережного отношения к живой и неживой природе, необходимости и важности мероприятий по охране всех компонентов окружающей среды, включая водные ресурсы, геологическую среду, необходимости более активного применения юридических и экономических санкций и поощрений.

Ряд научно-производственных мероприятий по отдельным проблемам рассмотрен выше. Здесь выделим мероприятия общего характера, требующие первоочередной разработки и внедрения. Это:

создание общей методологии комплексной геолого-экологической оценки территории, обеспечивающей локальный и интегральный учет и прогноз воздействия на геологическую среду всех основных техногенных факторов;

разработка принципов типизации территории по ее реакции на основные возможные техногенные воздействия и проведение соответствующего районирования Украинской ССР;

разработка системы комплексных и узкоцелевых опорных опытных полигонов, размещение их с учетом проведенного районирования;

научная разработка и создание в пределах Украинской ССР литомониторинга в тесной увязке с мониторингом поверхностей гидросферы и учетом требований мониторинга биосфера;

дальнейшая разработка теоретических принципов и методических основ прогнозирования гидрогеологических, инженерно-геологических, геодинамических процессов с учетом влияния техногенных факторов;

проверка и уточнение выявляемых закономерностей процессов с помощью математических моделей опытных полигонов;

создание системы межведомственных и отраслевых постоянно-действующих гидрогеологических, гидрологических и инженерно-геологических моделей наиболее техногенно нагруженных и важных в народнохозяйственном отношении районов;

существенное увеличение комплексности гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, увеличение количества исследуемых процессов и параметров; в частности, при гидрогеологических исследованиях необходимо чаще комплексировать с опытно-фильтрационными методами геофизические, гидрогеофизические, ядерно-физические, изотопные, водно-гелиевые, методы искусственных индикаторов, дистанционные методы и др. При инженерно-геологических исследованиях необходимо в комплексе изучать тепловую стойкость пород, влияние на них вибрации, влияние электрохимических воздействий, агрессивных стоков, коррозионных процессов и т.п.;

широкое применение имитационного моделирования на всех стадиях обоснования и проектирования инженерных сооружений;

периодический анализ методики и результатов выполненных исследований и сопоставление их с данными эксплуатации инженерных сооружений, построенных по результатам этих исследований. Такой анализ и сопоставление позволят усовершенствовать методику исследований и повысить достоверность прогнозов;

применение принципиально нового подхода к составлению схем комплексного использования природных ресурсов на основе современных методов моделирования и оптимизации, новых требований к охране природы, комплексной увязки планируемого развития промышленно-хозяйственного комплекса с естественными ресурсами и экологическими требованиями;

разработка и улучшение нормативных документов по инженерно-экологическому обоснованию строительства и эксплуатации различных сооружений.

Перечисленные задачи-мероприятия по существу образуют единое крупное научное направление, которое призвано обеспечить действительно рациональное использование геологической среды, способствовать созданию экологически здоровой природной обстановки в целом. Развитие исследований по этому направлению, безусловно, потребует

дополнительных крупных финансовых затрат и организационных усилий. Но внедрение результатов этих разработок позволит получить значительный социальный, экологический и экономический эффект, постепенно перейти на качественно новый этап взаимодействия человека с природой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геохимические исследования для целей экологической оценки урбанизированных территорий: Проект МАБ-11/Е.П. Сорокина, Б.А. Ревич, Ю.Е. Свет, Р.С. Смирнова. М.: Ин-т географии АН СССР, 1985. С. 3—20.
2. Захарко В. Выброс на Днестре // Известия. 1984. 1 июня.
3. Сергеев Е.М., Трофимов В.Т. Охрана природной среды и геологическое образование // 27-й Междунар. геол. конгр.: Геол. образование. Секция С. 22: Докл. М.: Наука, 1984. Т. 22. С. 13—19.

Заключение

На современном этапе развития общества проблема рационального использования и охраны геологической среды выдвинулась в число проблем приоритетных, социально значимых. Особенно остро она проявляется в районах интенсивного техногенного воздействия. Многие аспекты этой проблемы имеют, как убедительно показано в статьях настоящего сборника, четко выраженную гидрогеологическую и инженерно-геологическую специфику. В криолитозоне они приобретают геокриологическую направленность. Все они выносятся на обсуждение I Всесоюзного съезда инженеров-геологов, гидрогеологов и геокриологов, который состоится в октябре 1988 г. в г. Киеве.

Этот съезд будет проходить под названием "Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии районов интенсивной инженерной нагрузки и охрана геологической среды". Программой его предусмотрена работа шести секций.

1. Анализ достижений и перспективы дальнейшего развития инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии.
2. Актуальные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии Украинской ССР.
3. Закономерности изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий при интенсивном техногенном воздействии.
4. Методы, методика и технические средства изучения геологических процессов в районах интенсивного техногенного воздействия.
5. Прогнозирование изменений геологической среды под влиянием техногенных воздействий.
6. Проблемы рационального использования, управления и охраны геологической среды.

Первые шесть и последнюю статьи настоящего сборника следует рассматривать как генеральные доклады этих секций. Обзор и анализ задач, содержащихся в этих статьях, определяют (но не ограничивают) круг вопросов к обсуждению на каждой секции, свидетельствуют о многогранности проблемы рационального использования геологической среды.

Рассмотрение на одном съезде проблем инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии не случайно, закономерно. Эти отрасли геологических знаний призваны всесторонне изучать гетерогенную динамичную природную, а на освоенных территориях — природно-техногенную систему — геологический массив (структурну), включаю-

щий твердую, жидкую, газообразную компоненты, взаимодействующие между собой, в том числе под влиянием деятельности человека. Именно эти науки в наибольшей степени связаны с решением одной из важнейших проблем современности — геологическим обоснованием рационального развития, защиты и охраны геологической среды, окружающей среды в целом.

Проведение съезда на Украине также закономерно. Территория этой республики относится к числу районов СССР, испытывающих интенсивные техногенные нагрузки разных типов от различных типов инженерных воздействий. Знакомство с особенностями поведения геологической среды различного строения под влиянием этих воздействий, с положительным и негативным опытом работы природно-технических систем в этих условиях (в частности, в научных экскурсиях в Крымском, Одесском, Киевском районах и Донбассе) позволит участникам обогатить свои знания, использовать их в своей дальнейшей деятельности.

Все вопросы, рассмотренные в настоящем сборнике и выносимые на обсуждение съезда, имеют важное теоретическое и практическое значение. Однако на современном этапе развития общества особое социальное звучание приобретают вопросы рационального использования, управления и охраны геологической среды. В этом всех еще раз убедили мероприятия, связанные с ликвидацией последствий Чернобыльской трагедии.

В заключение подчеркнем, что решение проблем рационального использования геологической среды ставит перед науками геологического цикла ряд очень емких и трудных задач. Поскольку в перспективе строительство инженерных сооружений будет проводиться не на лучших, как делалось ранее, а на худших участках в связи с более низким их народнохозяйственным значением, необходимо существенное совершенствование изысканий, направленных на получение более полной достоверной и оперативной геологической информации. Необходима более активная разработка и внедрение в практику эффективных методов технической мелиорации грунтов, позволяющих получать не только массивы грунтов с заданными свойствами, но и управлять ходом многих экзогенных геологических процессов. Особое место в решении этой проблемы занимает разработка концепции литомониторинга как важнейшей подсистемы мониторинга окружающей среды. Социально-экономическое значение осуществления литомониторинга разных уровней (локального, регионального, общегосударственного) трудно переоценить. Теоретические и практические вопросы его реализации требуют активного обсуждения на съезде.

B. T. Трофимов

Содержание

Предисловие	3
<i>Е.М. Сергеев.</i> Проблемы инженерной геологии в связи с задачами рационального использования и охраны геологической среды	5
<i>В.М. Швец.</i> Достижения и перспективы развития гидрогеологии	21
<i>В.Т. Трофимов, В.В. Баулин, И.С. Зекцер, Е.В. Пиннекер, А.С. Хасанов.</i> Закономерности изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий при интенсивном техногенном воздействии	37
<i>И.С. Комаров, С.А. Акинфиев, В.И. Лялько, А.А. Огильви, А.И. Шеко.</i> Методы, методики и технические средства изучения геологических процессов в районах интенсивного техногенного воздействия	61
<i>В.А. Мироненко, С.Е. Гречищев, Б.В. Смирнов, В.М. Шестаков.</i> Проблемы прогнозирования изменений геологической среды под влиянием техногенных воздействий	84
<i>Г.А. Голодковская, С.Д. Воронкович, В.М. Гольдберг, Э.Д. Ершов.</i> Проблемы рационального использования, управления и охраны геологической среды	103
<i>Ф.В. Котлов, Л.В. Бахирева, Ю.О. Зеегофер, Г.Л. Кофф.</i> Итоги и задачи изучения изменения геологической среды в пределах городских и промышленных агломераций	117
<i>А.А. Варга, Г.С. Золотарев, И.А. Парабучев, Н.Н. Романовский.</i> Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при крупном гидротехническом строительстве	139
<i>Л.Г. Балаев, Д.М. Кац, С.Ш. Мирзаев.</i> Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при мелиоративном строительстве и освоении земель	152
<i>Н.И. Плотников, А.А. Карцев, В.Д. Ломтадзе, И.И. Рогинец.</i> Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при разработке месторождений полезных ископаемых	166
<i>Л.С. Язвин, Б.В. Боревский, И.К. Гавич, К.И. Сычев, М.А. Хордикайнен.</i> Итоги и задачи изучения изменения геологической среды при эксплуатации водозаборов пресных подземных вод	183
<i>В.Б. Адилов, С.С. Бондаренко, Г.С. Вартанян, Г.В. Куликов, В.П. Стрепетов, А.А. Шпак.</i> Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при эксплуатации водозаборов минеральных, термальных и промышленных подземных вод ...	197
<i>Е.А. Яковлев, Б.В. Графский, Г.В. Лисиченко, Э.В. Соботович.</i> Итоги и задачи изменения геологической среды в районах возведения атомных электростанций....	203
<i>В.М. Шестопалов, И.П. Зелинский, Е.Ф. Шнюков, Е.А. Яковлев.</i> Актуальные проблемы гидрогеологии и инженерной геологии Украинской ССР.....	224
Заключение	244

Научное издание

**Проблемы
рационального
использования
геологической
среды**

*Утверждено к печати
Научным советом АН СССР
по инженерной геологии
и гидрогеологии*

Редактор издательства Ю.А. Юдина
Художник Д.А. Шпаков
Художественный редактор Н.Н. Власик
Технический редактор Л.В. Русская

Набор выполнен в издательстве
на электронной фотонаборной системе

ИБ № 37084

Подписано к печати 29.04.88. Т – 01895
Формат 60 × 90 1/16. Бумага офсетная №1
Гарнитура Таймс. Печать офсетная
Усл.печл. 15,5. Усл.кр.-отт. 15,8. Уч.-изд.л. 18,8
Тираж 1750 экз. Тип. зак. 303. Цена 3р. 80к.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство "Наука"
117864 ГСП-7, Москва В-485,
Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия 12

Издательство "Наука"

Готовятся к изданию:

Современные проблемы инженерной геологии лёссовых пород.

В сборнике рассмотрены вопросы генезиса просадочности лёссовых пород, закономерности развития в них геологических процессов, методы и технология инженерно-геологических исследований в районах их распространения. Обсуждены проблемы проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений на лёссовых грунтах, управления их свойствами.

Для геологов, инженеров-геологов, гидрогеологов, изыскателей и проектировщиков.

Кутергин В.Н. Закономерности изменения прочности водонасыщенных связных грунтов при вибрации.

В монографии проведен анализ теоретических представлений и экспериментальных исследований поведения водонасыщенных глинистых грунтов при вибрационных нагрузках. Описаны методики исследований, а также конструкции экспериментальных установок и систем регистрации параметров экспериментов. Приведены результаты испытаний. Даны рекомендации по оценке возможности изменения прочности грунтов при вибрационном воздействии.

Для специалистов в области инженерной геологии.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазинов "Книга—почтой" "Академкнига":

Магазины "Книга—почтой":

252030 Киев, ул. Пирогова, 4
197345 Ленинград, Петрозаводская, 7
117192 Москва, Мичуринский пр-т, 12

3 p. 80 κ.

5082