



ГИДРОГЕОЛОГИЯ.
ИНЖЕНЕРНАЯ
ГЕОЛОГИЯ
И СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА •



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
Национальный комитет геологов
Советского Союза

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОНГРЕСС
XXVI сессия

Доклады советских геологов

ГИДРОГЕОЛОГИЯ.
ИНЖЕНЕРНАЯ
ГЕОЛОГИЯ
И СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ

3293



ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА •
Москва 1980



ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR
MINISTRY OF GEOLOGY OF THE USSR

National Committee of Geologists of the Soviet Union

INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS

XXVI session

Reports of Soviet Geologists

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING GEOLOGY AND MATERIALS

Редакционная коллегия:

"Гидрогеология"

Г.В. Куликов (ответственный редактор), В.С. Ковалевский,
В.И. Ферронский, Н.М. Фролов, В.М. Швец, В.М. Шестаков

"Инженерная геология и строительные материалы"

Е.М. Сергеев (ответственный редактор), Д.Г. Зилинг, Ю.Б. Осипов

Editorial board:

"Hydrogeology"

G.V. Kulikov (editor-in-chief), V.S. Kovalevsky, V.I. Ferronsky,
N.M. Frolov, V.M. Shvets, V.M. Shestakov

"Engineering geology and materials"

E.M. Sergeev (editor-in-chief), D.G. Zeeling, Yu.B. Osipov

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник докладов советских ученых, подготовленный к XXVI сессии Международного геологического конгресса, посвящен результатам исследований в области гидрогеологии, инженерной геологии и строительным материалам, полученным за последние годы.

Тематика докладов в разделе "Гидрогеология" определялась следующими проблемами.

1. Значение литолого-стратиграфического и структурного анализов для понимания водоносных систем и оценки их питания. Установление гидрогеологической индексации. Изучение (в различных масштабах) основных физических факторов, определяющих гидрогеологические параметры, и установление законов, управляющих их пространственным распределением. Эффекты масштаба. Характеристика лимитирующих гидрогеологических условий.

2. Гидрогеологические исследования бассейнов и водоносных систем на основе количественных методов с целью оценки ресурсов и запасов подземных вод с учетом технических и экономических возможностей.

3. Региональные обобщения и методология получения количественных гидрогеологических данных.

4. Гидрогеотермия — изучение термических характеристик физико-химических процессов взаимодействия подземных вод и водовмещающих пород и, в частности, изменения вязкости, плотности, ионного состава подземных вод, передачи тепла и других аспектов.

При подготовке докладов были учтены рекомендации Организационного комитета Конгресса о необходимости сделать в них упор на роль геологических факторов при оценке ресурсов и запасов подземных вод в свете проблем глобального управления и использования водных ресурсов, а также на освещение результатов исследований по обработке и использованию данных о геологических параметрах водоносных систем для построения дискретных математических моделей.

В разделе помещен также ряд докладов, отражающих результаты исследований по таким темам, как геохимия подземных вод и вмещающих пород, дистанционные методы исследований при изысканиях на нефть, рудные полезные ископаемые и воду, которые включены в программу Конгресса для совместного обсуждения специалистами различных научных направлений.

В Советском Союзе ведутся широкие теоретические и методические исследования с применением различных количественных методов для изуче- 7 и характеристики гидрогеологических процессов. Отразить

их в полной мере в рамках настоящего сборника не представилось возможным. Тем не менее накопленный опыт отечественных исследований в данной области нашел определенное отражение в статьях, которые могут представить интерес для гидрогеологов как с методической, так и с практической точек зрения.

Раздел "Инженерная геология и строительные материалы" подготовлен инженерно-геологической секцией Национального комитета геологов СССР и Научным советом по инженерной геологии и грунтоведению Отделения геологии, геофизики и геохимии АН СССР. В докладах советских авторов, в соответствии с программой конгресса отражены основные направления исследований современной инженерной геологии.

Нарастающее антропогенное воздействие на окружающую, в том числе и геологическую, среду выдвигает проблему их охраны и рационального использования на уровень важнейших государственных и международных задач. Этому вопросу посвящена первая группа докладов, освещающая состояние проблемы. В докладах подчеркивается все возрастающее влияние хозяйственной деятельности человека на эволюцию окружающей среды и определяется круг наиболее актуальных задач, направленных на решение проблемы.

Вторая группа докладов посвящена вопросам инженерно-геологической характеристики и принципам типизации крупных территорий как основы их региональной инженерно-геологической оценки. Здесь же рассмотрены и важнейшие проблемы инженерной геодинамики, связанные с прогнозом экзогенных геологических процессов в пространстве и во времени.

В третьей группе докладов рассматриваются вопросы методики исследования и мелиорации техногенных грунтов, природы прочности глинистых и песчаных грунтов, методы исследования скальных массивов.

В целом доклады дают представление об инженерно-геологических задачах, решаемых в Советском Союзе, отражают современное состояние наиболее актуальных проблем в этой области. Они представляют безусловный интерес в научном, методическом и практическом отношении для широкого круга специалистов, работающих в области охраны окружающей среды.

УДК 556.01:556.3.01.

Г.В. КУЛИКОВ, В.С. КОВАЛЕВСКИЙ, Н.М. ФРОЛОВ,
В.И. ФЕРРОНСКИЙ, В.М. ШВЕЦ, Н.А. ПЛОТНИКОВ, И.К. ГАВИЧ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

К настоящему времени гидрогеологическая наука накопила огромный объем информации о подземных водах: о региональных закономерностях распределения напоров, температуры, макро- и микрокомпонентного, газового и изотопного составов подземных вод; об условиях взаимосвязи поверхностных и подземных вод; времени водообмена и взаимосвязи отдельных систем. Составлены принципиальные представления — об истории и законах формирования подземных вод; роли морских и метеорных вод в этом процессе; роли поверхностных и подземных вод в формировании осадочной оболочки Земли, включая осадочный чехол океана. Исследования изотопного состава природных вод позволили по-новому подойти к изучению истории формирования гидротермальных месторождений полезных ископаемых и роли подземных вод в этом процессе при их взаимодействии с магматическими интрузиями. Установлено, что в формировании термальных вод районов современного вулканизма главная роль принадлежит циркуляции местных метеорных вод в районах выхода магматических интрузий, что имеет принципиальное значение для развития проблемы формирования подземных вод.

Достигнуты успехи в развитии аналитических, полевых и лабораторных методов гидрогеологических исследований: гидрогеодинамических, гидрогеохимических, гидрогеотермических, геофизических и ядерно-физических. Большой прогресс достигнут в развитии новых методов: дистанционных (в том числе с использованием спутников); моделирования с использованием цифровых и аналоговых машин; изучения вещественного состава воды и ее миграции в земной коре на основе исследований изотопов водорода, кислорода, углерода, гелия и др.

Эти успехи позволили человеку успешно использовать подземные воды для своих нужд, определять их эксплуатационные запасы, проектировать инженерные сооружения для эксплуатации подземных вод и борьбы с их отрицательным воздействием. В связи с переходом от описания явлений преимущественно в статическом состоянии к изучению процессов во времени, главными из которых в природе являются обмен веществом и энергией, в гидрогеологии оформились четыре фундаментальных ее

раздела — региональная гидрогеология, гидрогеодинамика, гидрогеохимия и гидрогеотермия.

Началом формирования региональной гидрогеологии в России явились геологические исследования И.В. Мушкетова и С.Н. Никитина в конце прошлого столетия. Дальнейшее развитие региональная гидрогеология получила в связи с планомерным изучением и разномасштабным гидрогеологическим картированием обширных территорий СССР. В 1959—1977 гг. издана многотомная монография "Гидрогеология СССР" (45 томов), обобщившая накопленные фактические данные и современные представления о закономерностях распространения и формирования подземных вод. Разработаны основы гидрогеологической стратификации и принципы районирования различных гидрогеологических структур, в условиях залегания подземных вод установлена зональность. На новом этапе развития региональной гидрогеологии, связанном с переходом от описания явлений к описанию процессов в их развитии (во времени), а также с появившимися в наше время возможностями в области сбора, обработки и хранения информации, моделирования и управления процессами создаются принципиально новые возможности для крупных региональных обобщений в гидрогеологии в целом. Первоочередными задачами здесь являются: дальнейшая разработка теории формирования подземных вод в создании основ планетарной гидрогеологии в ее взаимосвязи с космосом; создание более совершенных методов гидрогеологической стратификации; составление корреляционных схем; совершенствование методов гидрогеологического картирования, а также разработка унифицированных требований к содержанию различных гидрогеологических карт. Важным является проведение комплексных гидрогеодинамических, гидрогеохимических и гидрогеотермических исследований с разработкой принципов оптимизации точности, объемов и видов исследований. В первую очередь это относится к региональным исследованиям по изучению процессов тепло- и массопереноса в типовых водообменных геосистемах, экспериментальным лабораторным и аналитическим исследованиям, моделированию названных процессов на аналоговых и цифровых вычислительных машинах, созданию планетарных гидрогеологических карт.

Второй фундаментальный раздел гидрогеологии — гидрогеодинамика — также имеет большую историю. Первые количественные исследования по фильтрации подземных вод связаны с работами таких гидравликов и гидродинамиков, как Д. Бернулли, А. Дарси, Ж. Дюпюи, Н.Е. Жуковский, Е.А. Замарин, Н.Н. Павловский, позднее Ф. Форхгеймер, М. Маскет, П.Я. Кочина-Полубаринова, И.А. Чарный, Ч. Тейс и многие другие. Однако как самостоятельный раздел гидрогеологии, динамика подземных вод оформилась лишь в работах Г.Н. Каменского в тридцатых годах и к настоящему времени получила широкое развитие в трудах А.И. Силина-Бекчурина, Ф.М. Бочевера, В.М. Шестакова, Н.А. Плотнова и других.

Гидрогеодинамика существенно отличается по своим задачам и методам исследований от подземной гидравлики и гидромеханики, хотя она широко пользуется их достижениями и методами исследований.

Главное отличие связано с глубокой геологической ее направленностью. Математический аппарат служит только средством решения гидрогеологических задач и изучения установленных закономерностей движения подземных вод в различных гидрогеологических условиях.

До середины 60-х годов изучались различные аспекты процесса фильтрации подземных вод в горных породах зоны активного водообмена. К настоящему времени получены уравнения, позволяющие количественно исследовать особенности фильтрации в моно- и гетерогенной пористой, глинистой и трещиноватой средах. Для последних двух сред доказано существование так называемой схемы с "двойной пористостью" или "двойной трещиноватостью". Это позволило по-иному подойти к оценке движения подземных вод в сильно закарстованных породах, в трещиноватых глинистых отложениях. Однако многие физические аспекты такого движения еще не раскрыты и требуют своего исследования, хотя с использованием цифровых и аналоговых вычислительных машин сейчас возможно исследовать практически любой сложности гидрогеологические процессы в зоне активного водообмена. В последнее десятилетие в динамике подземных вод получают активное внедрение вероятностно-статистические методы, начинают использоваться различные стохастические модели при анализе процессов фильтрации подземных вод. Они позволяют расширить область количественных исследований и охватить ею процессы, характеризующиеся многофакторностью и неопределенностью их воздействий, что имеет место при изучении многих гидрогеохимических процессов, связанных с проблемами формирования подземных вод.

В динамике подземных вод в последние годы внимание привлекают две сложные формы движения вод: процессы инфильтрации и влаго-солепереноса в зоне аэрации при неполном насыщении пород водой, а также процессы миграции подземных вод как особая физико-химическая форма движения, при которой фильтрация сопровождается изменением количества энергии и вещества (тепло- и массопереноса) часто необратимо. Такой подход развивается в связи с изучением и количественной оценкой процессов загрязнения подземных вод, обоснованием возможности захоронения в водоносные пласты промстоков, изучением условий формирования водно-солевого режима и баланса подземных вод на орошаемых территориях при изучении гидрогеодинамики глубоких горизонтов, находящихся в зоне весьма замедленного водообмена и подвергающихся различным термодинамическим и геологическим воздействиям, при изучении проблемы формирования минерализации и химического состава подземных вод в процессе геологической истории развития исследуемого бассейна подземных вод, при изучении региональных закономерностей гидрогеодинамики, гидрогеохимии и гидрогеотермии бассейнов подземных вод. Все эти задачи, особенно последние, еще далеки от своего разрешения. Полученные на основе теории тепло- и массопереноса решения отвечают пока еще простейшим математическим моделям, не всегда правильно отражающим физическую сущность исследуемых процессов. Требуется организация натурных исследований — наблюдений за режимом подземных вод, воднобалансовых станций, опытно-промышленных участков, постановка специальных эксперимен-

тальных и опытно-фильтрационных работ и исследований с целью изучения физических закономерностей и параметров сложных процессов влагопереноса. На этой основе должны совершенствоваться геолого-математические модели этих процессов и разрабатываться математические методы исследований, включая методы численного анализа, математического моделирования на АВМ и ЭЦВМ, натурального моделирования (гидрогеологического) подобия) и др. Важными теоретическими проблемами также являются:

— исследование динамики глубинных подземных вод, залегающих в зоне весьма замедленного водообмена, и создание физической и математической теории их движения;

— исследование региональной динамики подземных вод на основе использования системного анализа, учитывающего различный уровень гидрогеологических систем, и разработка теории движения и водообмена в гидрогеологических системах различного уровня с учетом взаимодействия гидрогеологических бассейнов и массивов);

— применение общей теории идентификации и оптимального управления системами к исследованию движения подземных вод в гидрогеологических системах разного уровня в связи с решением прямых (прогнозных) и обратных (определение параметров системы) задач.

Гидрогеохимия, зародившаяся как фундаментальное научное направление гидрогеологии 50 лет назад (доклад В.И. Вернадского в 1929 г. "О классификации и химическом составе природных вод"), добилась с тех пор больших успехов. С ее развитием расширяются и углубляются знания об истории химических элементов в подземных водах, об их многокомпонентном вещественном составе, способствуя со все возрастающей степенью всестороннему использованию подземных вод в народном хозяйстве. Содержание гидрогеохимии в настоящее время чрезвычайно расширилось. Возникли самостоятельные ее направления: геохимия пресных (питьевых), минеральных (лечебных), промышленных и термальных вод и др. Помимо активного участия в решении теоретических и практических проблем гидрогеологии, гидрогеохимия помогает решать многие задачи геологии и геохимии, в числе которых выяснение условий образования экзогенных эпигенетических месторождений полезных ископаемых, образование солей, нефтяных и газовых месторождений и др.

Важнейшей теоретической проблемой гидрогеохимии продолжает оставаться проблема формирования химического состава подземных вод, в которой очень много гипотез, но нет общей теории. Продолжается, например, дискуссия относительно особенностей формирования некоторых химических типов подземных вод (хлоридных натриево-кальциевых рассолов и других типов). Не находят полного объяснения выявленные различные типы гидрогеохимической зональности. Не решена задача формирования соленых вод и рассолов в несоленосных отложениях. Требуют объяснения накапливающиеся факты вскрытия рассолов в глубоких частях кристаллических массивов. Новые данные, полученные в результате бурения и гидрогеохимического опробования сверхглубоких скважин в СССР, в значительной мере опро-

вергают устоявшееся представление о зональности подземных вод на этих глубинах и их гидрогеохимическом составе. Помимо названных направлений гидрохимии, следует отметить важную роль геохимии подземных вод рудных и нефтегазовых месторождений, имеющую практический выход в области рудопоисковой и нефтегазописковой гидрогеологии, где достигнуты определенные успехи в применении гидрогеохимического метода поисков месторождений полезных ископаемых.

В последние годы созданы новые направления гидрогеохимии: органическая гидрогеохимия, геохимия редких и рассеянных элементов подземных вод, инженерная (техногенная) гидрогеохимия. Большую актуальность приобрела проблема оценки качества подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Интенсификация водоотбора подземных вод в гидрогеохимическом отношении означает нарушение природного установившегося равновесия в системе "вода—порода" и усиление процессов взаимодействия между различными водоносными горизонтами. Важным последствием этих процессов являются изменения режима химического состава подземных вод. Эти изменения могут быть настолько значительными, что по ряду компонентов подземные воды становятся некондиционными. В связи с возрастающей эксплуатацией подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения они во многих случаях стали подпитываться поверхностными водами. Это относится не только к грунтовым водам, но отмечается и на ряде водозаборов, эксплуатирующих напорные воды. В результате происходит не только изменение прежнего химического состава подземных вод, но и проникновение микроорганизмов (включая вирусы) в как будто хорошо защищенные от загрязнения подземные воды. Это обостряет проблему баланса поверхностных вод и ставит проблему изучения химического и биологического состава подземных вод в условиях эксплуатации.

Особое значение гидрогеохимические исследования приобретают и при искусственном восполнении запасов пресных вод, где взаимодействие между водами и породами приводит во многих случаях к изменению химического состава пресных вод. Инженерная гидрогеохимия решает важные и сложные проблемы, связанные с инженерной, хозяйственной деятельностью человека (охрана подземных вод от загрязнения, захоронение промстоков, изучение взаимодействия различных инженерных сооружений и подземных вод). Остро встает проблема прогноза изменения химического состава подземных вод под влиянием производственной деятельности человека. Так, например, А.В. Сидоренко считает, что захоронение промстоков в недра Земли включает в себя задачу разработки геохимических и гидрохимических аспектов этой проблемы с тем, чтобы рационально управлять геохимическими процессами, происходящими между отдельными их компонентами, минералами, горными породами, газами и подземными водами. В связи с интенсивным водоотбором и снижением уровня подземных вод в крупных городах возникает задача прогноза "техногенных" гидрогеохимических процессов.

Органическая гидрогеохимия имеет несколько аспектов своего развития: изучение органических веществ в водах нефтегазовых месторождений с целью решения вопросов нефтегазообразования и поисков нефтяных

и газовых месторождений; изучение органических веществ в минеральных (лечебных) водах; изучение роли органических веществ в миграции химических элементов в подземных водах и др. Разнообразие воднорастворимых органических веществ и их способность образовывать координационные связи с ионами является предпосылкой для миграции элементов в форме различных органических комплексов. Образование устойчивых органических миграционных форм должно вносить определенные коррективы в общепринятые положения геохимии многих элементов, основанные на представлении о неорганической природе их миграции. Это означает необходимость дальнейшего интенсивного изучения связи элементов с органическими веществами подземных вод и скорейшего создания термодинамики геохимических процессов, происходящих с участием органических веществ. Важнейшей задачей на будущее является изучение процессов на количественном уровне, изучение механизма и кинетики взаимодействия воды и породы в различных термодинамических условиях. Необходимо также дальнейшее совершенствование методики и техники экспериментальных и аналитических работ.

В последние годы пристальное внимание привлекает изучение биологического состава подземных вод, используемых для водоснабжения. Уровень изученности этого вопроса в СССР и других странах остается низким. В грунтовых водах песков Каракумов обнаружены, например, активные фораминиферы, которые считают реликтами Акчагыльского моря. В пресных подземных водах встречены десятки видов бактерий микроскопических водорослей и простейших, а также вирусов и клеточных организмов. В некоторых случаях в подземные воды попадают патогенные формы организмов и вирусов. Все это обязывает более детально исследовать бактериологический состав подземных вод, особенно в случаях их использования для питьевого водоснабжения.

Истоки зарождения четвертого фундаментального раздела гидрогеологии — гидрогеотермии — относятся к концу прошлого и началу нынешнего века, когда началось изучение температуры подземных вод. К середине XX столетия уже выходит в свет огромное количество работ регионального, теоретического и методического характера. Но как самостоятельный раздел гидрогеологии, занимающийся изучением закономерностей обмена теплом в гидрогеодинамических системах, закономерностей изменения температуры подземных вод и вмещающих их горных пород в пространстве и во времени, а также разработкой способов решения геолого-гидрогеологических задач на основе изучения искусственного и естественного геотемпературных полей, гидрогеотермия оформилась лишь к концу 60-х годов. Сейчас гидрогеотермия получила столь многогранное развитие, что здесь представляется возможным перечислять лишь наиболее важные ее направления:

- развитие теории тепло- и массообмена в системе "атмосфера—литосфера" с учетом фазовых переходов, взаимодействия внешних и внутренних источников тепла в верхних слоях земной коры, теплового баланса;
- изучение закономерностей изменения температуры подземных вод и вмещающих горных пород в пространстве и создание теории стационарного геотемпературного поля;

— изучение закономерностей изменения температуры подземных вод и вмещающих их горных пород во времени и разработка теории нестационарного геотемпературного поля, включая методы прогноза температуры и палеогидрогеотермию;

— изучение закономерностей формирования и распространения термальных вод и парогидротерм, разработка методов их поисков, разведки и оценки запасов;

— развитие гидрогеотермических методов решения гидрогеологических и геологических задач в геотектонике, металлогении, в геологии угля, нефти и газа, в инженерной геологии, геокриологии;

— развитие методов тепловой (инфракрасной) аэрокосмической и наземной термометрической съемки (в том числе при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, сопровождаемых экзо- и эндо-термическими процессами);

— развитие гидрогеотермических методов решения технических задач в поисково-разведочной и нефтяной гидрогеологии (изучение затрубной циркуляции вод, притоков воды в скважину, перетекания и др.).

Основное достижение гидрогеологии последних лет заключается в том, что на основе работ в этой области произошел принципиальный пересмотр прежних (прочно установившихся в течение многих десятков лет) взглядов на механизм обмена теплом в верхней оболочке Земли. Ныне при решении задач прикладного или теоретического характера исследователь вынужден считаться с той огромной ролью в передаче тепла, которую играют в верхних слоях земной коры подземные воды и связанные с ними конвективные процессы.

Создание общей теории тепло- и массообмена связано с трудами выдающегося советского ученого А.В. Лыкова и его школы. В геологии и гидрогеологии основы такого подхода были заложены В.И. Вернадским, а позднее развивались Г. Шоллером, И.А. Чарным, В.С. Лукьяновым и др.

В региональной гидрогеотермии, являющейся основным источником информации для перечисленных направлений гидрогеотермии, получены в последние годы наиболее ощутимые результаты. Итоги этих исследований для зоны активного водообмена подведены в недавно составленном во ВСЕГИНГЕО "Гидрогеотермическом атласе СССР".

Создание общей схемы гидрогеотермической зональности гелиотермозоны по условиям режима имело большое значение не только для развития теории гидрогеотермии, но и послужило основой для внедрения новых методов изучения режима температуры подземных вод, совершенствования существовавших методов определения гидрогеодинамических параметров (скорости перетекания через водоупоры и др.), а также внедрения новых методов (определение фильтрационных свойств пород зоны аэрации, например гидрогеодинамическое расчленение и др.).

Наиболее актуальными задачами дальнейших исследований в рамках этого раздела представляются следующие:

— совершенствование методов картирования геотемпературного поля зоны активного водообмена с разработкой принципов оптимизации точности и объемов информации при составлении карт геотемпературных полей;

— проведение послойного, средне- и крупномасштабного картирования величин молекулярного, конвективного и суммарного тепловых потоков;

— создание универсальной программы расчетов на современных ЭВМ задач пространственного неустановившегося конвективно-кондуктивного переноса тепла в гидрогеодинамических системах; моделирование трехмерного геотемпературного поля с учетом периодических изменений температуры различной длины на поверхности и представительного массива теплофизических и гидрогеологических параметров, а также величины первичного суммарного теплового потока из недр Земли и оценки возможных соотношений между конвективной и кондуктивной составляющими в пределах верхних слоев Земли, повсеместно насыщенных подземными водами;

— разработка методов дешифрирования данных аэрокосмической тепловой съемки в гидрогеологических целях.

Изучение закономерностей формирования режима подземных вод (уровня, расхода, температуры и химического состава), разработка методов прогноза и выдача самих прогнозов являются одной из основных задач современной гидрогеологии. Эти исследования должны проводиться с учетом влияния естественных факторов и хозяйственной деятельности человека в целях оптимизации использования ресурсов подземных вод и их охраны, а также для планирования мероприятий по борьбе с отрицательными последствиями, вызываемыми воздействиями подземных вод.

Разработка методов прогноза требует изучения региональных закономерностей формирования подземных вод и прежде всего исследований сезонных и многолетних пространственно-временных его закономерностей. Во ВСЕГИНГЕО, ИВП АН СССР и ГИДРОИНГЕО выполнены региональные обобщения многолетних данных по режиму преимущественно уровня и температуры грунтовых вод. Выявлены сезонные и многолетние закономерности режима уровня и температуры грунтовых вод в различных геологических и климатических условиях, разработана классификационная схема режима уровня подземных вод, на основе которой проведено районирование СССР по условиям формирования режима подземных вод и создана схема опорной наблюдательной сети. Проведены исследования по установлению количественных (корреляционных) связей режима уровней грунтовых вод и подземного стока с различными проявлениями солнечной активности, геомагнитных возмущений Земли, атмосферной и стратосферной циркуляцией, нутационными колебаниями полюса вращения Земли, приливными силами Луны и другими режимообразующими факторами и условиями. В настоящее время разработаны и внедрены в практику методы сезонных (2—6 месяцев) и долгосрочных (1—2 года) прогнозов, базирующиеся на парных и множественных связях режима уровня подземных вод с метеофакторами, на инерционных свойствах подземных вод, на автокорреляции рядов и др. Разработаны методы картирования режима уровня и температуры подземных вод и его прогнозов.

Задачами дальнейших исследований в данной области являются:

— разработка методов сверхдолгосрочных (свыше 3-х лет) прогнозов режима уровня грунтовых и напорных вод с учетом многолетней естественной изменчивости режимобразующих факторов, а также хозяйственной деятельности человека в целях управления режимом;

— совершенствование методов прогноза режима температуры подземных вод и разработка методов прогноза режима химического состава подземных вод.

Для решения первой задачи необходимо продолжить изучение вековых колебаний уровней подземных вод и подземного стока, выявление в них детерминированных (генетических естественных и искусственных) и стохастических составляющих. Необходимо разработать методы экстраполяции этих колебаний во времени, методы наращивания коротких рядов наблюдений на генетической и вероятностной основе, провести изучение закономерностей чередования серий маловодных и многоводных лет и увязку этих закономерностей с другими элементами общего влагооборота на Земле (поверхностным стоком, атмосферными осадками, накоплением влаги в ледниках и поверхностных водоемах). Необходимо также обоснование возможности сработки емкостных запасов подземных вод в различных природных условиях в маловодные периоды с гарантией полного восполнения запасов подземных вод в последующие многоводные периоды. Изучение пространственно-временных закономерностей формирования режима подземных вод создает основу для разработки моделей прогноза режима на физической (на базе генетических гелиогеофизических связей) и вероятностной основах. Районирование территорий по особенностям многолетнего режима должно проводиться методами распознавания образов, трендового и факторного анализов.

Для решения второй задачи требуются дальнейшие натурные исследования закономерностей режима подземных вод (водного, теплового и солевого) с учетом различной хозяйственной деятельности человека (в районах водозаборов, шахтного водоотлива, орошаемых и осушаемых земель, городского, промышленного и гидротехнического строительства, включая трассы переброски стока). Нуждаются в разработке методы расчленения естественных и искусственных многолетних изменений в режиме подземных вод. Необходимо создание модели для комплексных прогнозов естественного и нарушенного режимов подземных вод с целью изучения воздействий искусственных изменений на окружающую среду (на активизацию карстовых и суффозионных процессов, на растительность, поверхностный сток и т.д.). Необходима разработка методов предсказания карстовых провалов, подтопления территорий и других катастрофических явлений, связанных с подземными водами; создание комплексных тепло- и массообменных моделей прогноза и управления режимом подземных вод; апробация и разработка новых эффективных методов гидрогеологических исследований (гелиевой, тритиевой, аэрокосмической съемки и др.) для получения и оценки изменений под влиянием эксплуатации составляющих баланса подземных вод (инфильтрационного питания, перетекания, взаимодействия поверхностных и подземных вод, испарения, водоотбора). Все это позволит создать научные основы рационального использования подземных вод, включая обоснова-

ние выбора оптимальных схем и режимов эксплуатации, комбинирование использования подземных вод с их искусственным восполнением, использование шахтных и возвратных вод, взаимоувязки использования подземных вод в рамках гидрогеологических структур или регионов с существующими в них ресурсами вод с учетом всех их резервов и динамики, а также разработать методические приемы оптимального регулирования поверхностного стока с учетом неравномерности сезонного и многолетнего питания подземных вод.

Наконец, перед гидрогеологами сейчас стоит задача выявления закономерностей движения природных вод на Земле и развития на этой основе теории прогноза гидрогеологических процессов и последующего управления ими. Работы ведутся по ряду направлений. По мере накопления фактических данных и на основе данных палеогидрогеологических и палеогидрологических реконструкций уже удалось получить ряд важных выводов, позволяющих предсказывать с достаточной степенью точности развитие таких процессов, как изменение режима подземных вод в региональном и локальном планах, оценивать объемы восполнения подземных вод для артезианских бассейнов при их интенсивной эксплуатации и пр.

Ведутся работы и в теоретическом плане. В ИВП АН СССР получено строгое решение вариантного уравнения Якоби об энергетических колебаниях гравитирующих тел. Это решение удалось получить на основе выявленного нового инварианта для гравитирующих тел, устанавливающего жесткую связь между их потенциальной энергией и моментом инерции. Фундаментальное решение уравнения Якоби об энергетических колебаниях небесных тел представляет уравнение ангармонических колебаний их момента инерции, связанных с природными колебаниями потенциальной и кинетической энергии тела. Получен также ряд законченных решений об эволюции гравитирующих тел на основе решения того же вириального уравнения Якоби для неконсервативных систем. Эти решения открывают реальную перспективу исследования закономерностей развития и прогноза ряда земных процессов. В частности, открывается перспектива исследования энергетических пульсаций Земли и ее оболочек в геологическом времени. На этой основе могут быть рассмотрены процессы геотектоники и эволюции геотемпературных полей, процессы эволюции гидросферы, включая ее подземную оболочку и закономерности глобального водообмена, которые управляются природными источниками энергии.

Таким образом, среди основных проблем гидрогеологических исследований из перспективных могут быть названы следующие.

1. Исследование процессов формирования подземных вод, в основе которых лежит изучение:

— происхождения и истории развития подземных вод во взаимосвязи с эндогенными и экзогенными факторами в процессе геологического круговорота на Земле; палеогидрогеологических реконструкций с применением количественных методов гидрогеодинамики, гидрогеотермии и гидрогеохимии и учетом особенностей конвективно-кондуктивного энерго- и массообмена в различных гидрогеодинамических системах;

— закономерностей распространения и движения подземных вод в гидрогеодинамических системах; формирования полей фильтрации, гидрогеотемпературных и гидрогеохимических полей в пространстве и во времени и взаимодействия этих полей;

— закономерностей формирования режима и баланса подземных вод (изменения во времени расхода, уровней, температуры и химического состава подземных вод) как элемента гидросферы Земли в целом.

2. Дальнейшее развитие теоретических основ и методов гидрогеологических прогнозов в целях предсказания возможных изменений количества и качества подземных вод во времени как под влиянием естественно-исторических факторов и процессов, так и под воздействием различной хозяйственной деятельности человека. Основой таких прогнозов является создание физических, детерминированных математических и вероятностно-статистических системных моделей анализируемых процессов, управляющих формированием подземных вод во времени и в пространстве. Подобное моделирование должно учитывать взаимосвязь подземных вод как с другими частями гидросферы Земли, так и с окружающей средой в целом, т.е., с одной стороны, должно принимать во внимание закономерности формирования и эволюцию вод суши в целом, а с другой — должно быть нацелено на прогноз возможных экологических последствий, вызываемых изменениями гидрогеологической обстановки во времени.

3. Разработка научных основ управления гидрогеологическими процессами. Эта задача включает различные направления исследований, важнейшими из которых представляются следующие:

— создание автоматизированных систем сбора, обработки и хранения гидрогеологической информации, а также автоматизированных систем управления водными ресурсами страны;

— разработка методов рационального освоения ресурсов подземных вод и методов регулирования режима подземных вод в различных природных условиях и при решении различных народно-хозяйственных задач.

А B S T R A C T

The main scientific results achieved in regional hydrogeology, hydrogeodynamics, hydrogeochemistry and hydrogeothermy are presented. It is observed that an appreciable progress have been made in the above fields as to understanding the natural regularities of the development of hydrogeological processes and a voluminous factual material on a regional scale has been accumulated. A conclusion is drawn as to the necessity for initiation of major theoretical studies for establishing the fundamental regularities of ground-water movement on the earth and for further development of the principles and methods of hydrogeological forecasts.

Г.М. РОГОВ

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ОБВОДНЕНИЯ

Использование природных вод для различных целей постоянно возрастает, в связи с чем растет значение гидрогеологии, изучающей закономерности формирования и распространения подземных вод в целях их рационального использования. Поскольку подземные воды участвуют во всех процессах развития земной коры, закономерности их формирования и распространения следует рассматривать в неразрывной связи с основными геологическими структурами [1—4]. Геологическая структура, ее тектоника, структурные этажи и зоны, основные формации пород, физико-географические условия определяют основные гидрогеологические условия [5].

Гидрогеологические условия крупных бассейнов подземных вод, расположенных на различных континентах, но приуроченных к геологическим структурам, развивавшихся в сходных по тектонической природе участках земной коры, характеризуются в общем однотипными особенностями формирования подземных вод. Водоносные системы (комплексы осадочных, вулканогенных и интрузивных пород), характерные для этих структурных элементов коры, чаще всего разновозрастные, похожего литолого-геохимического состава, со сходными коллекторскими свойствами и часто расположенные в однотипных климатических условиях.

Структурами первого порядка из-за коренного отличия строения земной коры являются материки и океаны, в пределах которых выделяются структуры второго порядка платформы и геосинклинальные области.

Из-за слабой изученности структур второго порядка в океанах рассмотрим лишь основные типы гидрогеологических структур материков.

1. В пределах материковых платформ выделяется три типа гидрогеологических структур.

Бассейны подземных вод кристаллических массивов (щитов), выходов древних пород фундамента на дневную поверхность. Подземные воды связаны с зонами выветривания и трещиноватости пород. Породы обводнены слабо, подземные воды холодные, пресные (Балтийский, Украинский, Канадский, Анабарский, Южно-Африканский, Северо-Китайский и др.). В рифтовых областях щиты нарушены, в крупных зонах разлома породы характеризуются повышенной обводненностью, встречаются также термальные источники (Алданский щит).

Древние артезианские бассейны, связанные с платформами, осадочный чехол которых полностью сформировался в палеозойское время (артезианские бассейны Русской, Сибирской, Северо-Американской, Китайской, Африканской платформ и др.). Породы достаточно уплотнены, в целом характеризуются невысокой обводнен-

ностью, исключая закарстованные известняки, особенно в предгорных районах. Состав подземных вод определяется литолого-геохимическими особенностями водовмещающих пород и климатическими особенностями, чаще всего развиты рассолы. Поскольку артезианские бассейны (платформы) занимают огромные территории, то условия питания и режим подземных вод в значительной степени определяются физико-географическими особенностями региона (возможны смены гумидных и аридных условий). Более высокой проницаемостью и обводненностью характеризуются породы в пределах подвижных платформ (Сибирская, Китайская), где в составе водовмещающих пород представлены магматические образования.

Молодые артезианские бассейны, связанные с платформами, осадочный чехол которых сформировался в мезо-кайнозойское время (Западно-Сибирский, Каракумский, Северо-Австралийский, Северо-Африканский, Англо-Парижский, Южно-Американский и др.). В пределах этих бассейнов осадочный чехол тесно связан со структурами фундамента (чаще палеозойского возраста). Структуры подвижные, имеются сквозные зоны разлома. Породы (чаще терригенные) характеризуются «высокой обводненностью, отмечаются мощные (до 1—2 км) зоны пресных вод, бассейны заключают огромные запасы пресных и соленых термальных вод.

В артезианских бассейнах зональность подземных вод наиболее четко проявляется в структурах ненарушенного залегания пород и при длительном отсутствии колебательных движений, в условиях общего нисходящего движения подземных вод. Поднятие структуры ведет к ее опреснению инфильтрационными водами и отжатию тяжелых соленых седиментационных вод.

2. Геосинклинальные области характеризуются наиболее сложными гидрогеологическими условиями, обусловленными высокой подвижностью и значительной проницаемостью структур, расчлененностью рельефа, повышенными сейсмичностью и магматической деятельностью, большей величиной теплового потока из глубины. Чаще всего в этих структурах наблюдается сложное сочленение бассейнов подземных вод срединных массивов, межгорных артезианских бассейнов и моноклинальных артезианских склонов и артезианских бассейнов рифтовых зон. В геосинклинальных областях выделяется два типа гидрогеологических структур.

Древние гидрогеологические складчатые области, в основном закончившие формирование в палеозойское время, в каледонскую и герцинскую фазы складчатости (Саяно-Алтайская область, Уральская, Забайкальская, Центрально-Казахстанская, Кордильеры и др.). Области пенепленизированы, породы характеризуются невысокой обводненностью, кроме закарстованных карбонатных, галогенных образований и различных пород в зонах крупных разрывных нарушений (Урал, Восточные Саяны).

В области с современной сейсмичностью по зонам разлома разгружаются азотно-щелочные термы, часто радиоактивные, встречаются углекислые минеральные воды (Забайкалье).

Молодые гидрогеологические складчатые области, закончившие формирование в альпийскую фазу (Альпы, Карпаты, Кавказ, Памир, Корякско-Камчатская, Сихотэ-Алиньская, Аляска, Анды, Гималаи и др.). Породы в пределах этих областей характеризуются высокой проницаемостью и нарушенностью. Высокой обводненностью характеризуются карбонатные и галогенные закарстованные отложения, а также широко развитые базальты. Большой практический интерес представляют подземные воды высоко обводненных делювиальных отложений предгорных конусов выноса. С зонами разлома связаны выходы углекислых, сульфидных и термальных подземных вод. Для складчатых областей характерны наиболее благоприятные условия питания и разгрузки подземных вод.

Подземные воды артезианских бассейнов и гидрогеологических складчатых областей сопряжены друг с другом, характер сочленения может быть самым различным, чаще всего наблюдается перелив подземных вод. Чем полнее установлены закономерности формирования геологической структуры, тем детальнее могут быть раскрыты процессы формирования подземных вод, их участие во всех геологических процессах и вопросы практического использования.

АБСТРАКТ

Because the radical differences in the earth-crust structure and the conditions of the underground water formation the first order structures are mainlands and oceans within which platforms and geosyncline fold areas (the second order structures) are distinguished.

The fuller establishment of the regularities of geological structure development can result in more detailed investigation of the formation process of underground waters of their participation in all geological processes and their practical application.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барс Е.А., Борщевский Г.А., Брод И.О., Овчинников А.М. Методика установления границ артезианских и нефтегазоносных бассейнов. — Изв. вузов. Геология и разведка. 1961, № 11.
2. Вернадский В.И. Водное равновесие земной коры и химические элементы. — Природа, 1933, № 8—9.
3. Зайцев И.К. Принципы гидрогеологического районирования и типизация гидрогеологических структур. Л.: 1974. (Труды ВСЕГЕИ: Т. 229).
4. Овчинников А.М. Гидрогеологическое изучение водонапорных систем и роль гидрогеологии в решении гидрогеологических проблем. — Изв. Геол. ин-та Болг. АН. София. 1933, кн. 1.
5. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1964.

Н.И. ПЛОТНИКОВ

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ РЕСУРСОВ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Изучение условий формирования ресурсов пресных подземных вод в различных гидрогеологических бассейнах имеет существенное значение для выбора основных направлений поисково-разведочных работ при разрешении проблем централизованного водоснабжения крупных потребителей. Проведенные региональные исследования показали, что для различных гидрогеологических бассейнов четко отмечаются некоторые особенности формирования ресурсов пресных подземных вод.

Вместе с тем так же четко устанавливаются и общие закономерности, которые присущи всем гидрогеологическим бассейнам. Эти общие закономерности определяются следующими важнейшими природными факторами:

- геолого-структурными, определяющими условия образования водовмещающих структур (водоносных горизонтов, водоносных комплексов и гидрогеологических бассейнов в целом); литологическим составом водосодержащих пород, их мощностью, составом разделяющих слоев в разрезе водосодержащих пород, а также закономерностями пространственного их распространения;

- климатическими, определяющими условия питания и режим подземных вод, а грунтовых вод — зональные условия их распространения;

- гидрологическими, обуславливающими закономерности взаимосвязи подземных и поверхностных вод в естественных и нарушенных условиях (различные формы и степень связи подземных и поверхностных вод);

- гидрогеологическими, определяющими условия образования в верхней части разреза гидрогеосферы крупных месторождений пресных подземных вод, закономерности их распространения на территории СССР;

- техногенными, определяющими условия формирования искусственных запасов и ресурсов пресных подземных вод;

- экологическими, определяющими условия взаимосвязи пресных подземных вод с окружающей средой, условия интенсивной и длительной их эксплуатации при централизованном водоснабжении системой крупных водозаборных сооружений.

В верхней части разреза гидрогеосферы, в зоне активного стока, под влиянием процессов глобального влагооборота формируются ресурсы пресных подземных вод — самое ценное богатство из всех полезных ископаемых. Из всех неистощимых ресурсов пресных подземных вод в настоящее время построено коммунальное водоснабжение большинства городов нашей страны.

Есть еще одна особенность, характеризующая общие закономерности формирования ресурсов пресных подземных вод, которая заключается

в том, что при эксплуатации подземных вод системой водозаборных сооружений происходит не только их расходование, но и дополнительное формирование, обусловленное усилением различных источников питания.

Эта особенность месторождений пресных подземных вод принципиально отличает их от месторождений всех других видов полезных ископаемых.

Из всех перечисленных факторов наиболее важным является литологический состав водовмещающих пород, их фильтрационные и емкостные свойства. Для формирования ресурсов пресных подземных вод наиболее благоприятными являются такие рыхлые горные породы, как пески, гравий, галечники, а из коренных — трещиноватые и закарстованные карбонатные породы, трещиноватые покровные эффузивные образования (базальты), а также трещиноватые и брекчированные породы зон тектонических нарушений. К ним обычно приурочено формирование линейных потоков трещинно-жильных вод.

В части региональной характеристики формирования ресурсов пресных подземных вод исследованиями было установлено, что наиболее благоприятные природные условия накопления значительных ресурсов отмечаются на площади артезианских бассейнов платформенного типа [1, 2]. На площадях таких артезианских бассейнов, как Московский, Северо-Западный, Сурско-Хоперский, Днепровско-Донецкий, системы Западно-Сибирских и др., распространены крупные месторождения пресных подземных вод; водозаборные сооружения на эксплуатационных участках нередко имеют производительность до 60—80 и более тыс. м³/сут.

В верхних структурных этажах артезианских бассейнов платформенного типа напорные горизонты пресных подземных вод обычно формируют целый водоносный комплекс, общей мощностью до 300—500 м. При этом в региональном плане с запада на восток на территории СССР четко отмечается уменьшение мощности зоны распространения пресных подземных вод в артезианских бассейнах платформенного типа (до 80—100 м). Некоторые водоносные горизонты в артезианских бассейнах имеют хорошую гидравлическую связь с поверхностью и поверхностными водами в долинах рек, что является благоприятным условием для восполнения ресурсов, в процессе эксплуатации подземных вод.

В общем объеме отбора подземных вод для нужд народного хозяйства СССР на долю месторождений пресных напорных вод артезианских бассейнов платформенного типа приходится до 13—15% [1].

Своеобразные условия формирования ресурсов пресных подземных вод отмечаются в речных долинах, на площадях сухих дельт предгорных шлейфов (конусов выноса) и межгорных котловин. В перечисленных структурах грунтовые воды песчано-галечниковых образований имеют тесную гидравлическую связь с поверхностными водами. Это позволяет на площади отдельных месторождений устраивать высокопроизводительные инфильтрационные (береговые) водозаборные сооружения, эксплуатационные дебиты которых достигают до 50—80, реже — 180—200 тыс. м³/сут.

Широкое развитие на территории СССР речных долин, неглубокое залегание в них грунтовых вод от поверхности, наличие постоянного

источника питания (поверхностные воды), простота разведки — все это вместе взятое предопределило их интенсивное использование в народном хозяйстве. В настоящее время более 60% от общего потребления подземных вод приходится на месторождения грунтовых вод речных долин.

В некоторых горных районах СССР — в Средней Азии, Южном Казахстане и на Северном Кавказе в мощной толще (до 350—500 м) песчано-галечниковых образований конусов выноса, а также в межгорных котловинах формируются довольно значительные ресурсы и емкостные запасы подземных вод. Их питание определяется преимущественно режимом фильтрационных потерь речного ирригационного стока. В этих структурах, помимо ресурсов, представляется возможность широко использовать емкостные запасы путем искусственного регулирования интенсивного отбора системой групповых водозаборов и периодического возобновления сработанных емкостей в результате поглощения паводковых расходов рек.

Особенности формирования ресурсов подземных вод в речных долинах, конусах выноса и межгорных котловинах (тесная гидравлическая связь с поверхностными водами), предопределяют необходимость составлять для каждого бассейна схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. Только при этих условиях может быть решена проблема рационального привлечения подземных вод в народном хозяйстве.

В отдельных районах Советского Союза (Урал, Казахстан, Средняя Азия и др.) практический интерес представляет формирование в карбонатных породах месторождений безнапорных трещинно-карстовых вод.

Известняки, мраморы и доломиты благодаря трещиноватости и закарстованности, по сравнению со всеми другими литологическими разновидностями коренных горных пород, обладают повышенными фильтрационными и емкостными свойствами. Поэтому в них формируются нередко крупные месторождения, на базе которых могут быть успешно решены проблемы водоснабжения отдельных объектов.

В региональном плане на территории СССР отмечается весьма неравномерное распространение ресурсов пресных подземных вод. Острый дефицит ресурсов отмечается, например, в таких крупных регионах, как Центральный Казахстан, Туркмения, на юге Украины и РСФСР и др.

На площадях союзных республик основные ресурсы пресных подземных вод нередко сосредоточены в отдельных районах. Так, на территории Украины около 40% всех прогнозных ресурсов накапливаются на площади Днепровско-Донецкого артезианского бассейна; в Казахстане — в южных областях и др.

Неравномерное распределение ресурсов пресных подземных вод создает определенные трудности их использования в народном хозяйстве.

Выявленные общие закономерности формирования и распространения ресурсов пресных подземных вод на территории СССР являются надежной научной основой для перспективного планирования и постановки поисково-разведочных гидрогеологических работ и повышения их эффективности.

АБСТРАКТ

The regularities of forming fresh ground-water resources on the territory of the USSR, revealed as the result of regional investigations, are considered to be a scientific base for a planned hydrogeological prospecting and survey.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотников Н.И. Ресурсы подземных вод СССР. — Водные ресурсы, 1973, № 1.
2. Гидрология СССР: Сводный том. М.: Недра, 1977, вып. 3.

УДК 556.301

Б.В. БОРЕВСКИЙ, М.В. КОЧЕТКОВ, В.М. ШЕСТОПАЛОВ,
Л.С. ЯЗВИН

СВЯЗЬ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫМИ ФАКТОРАМИ

Региональные исследования условий формирования эксплуатационных ресурсов подземных вод активизировали изучение геолого-структурных факторов развития проницаемости горных пород. Всесторонняя геологическая информация в сочетании с геофизическими и гидрогеологическими исследованиями является необходимой основой для построения гидродинамических моделей. Наряду с этим гидрогеологическая информация может с успехом применяться для уточнения геолого-структурных особенностей изучаемых регионов.

При изучении ресурсов подземных вод могут быть использованы литолого-фациальные и структурные материалы для решения следующих вопросов:

- обоснования региональных закономерностей формирования фильтрационных параметров водовмещающих пород;
- выявления закономерностей формирования проницаемости разделяющих слабопроницаемых слоев;
- оценки роли литологических и тектонических внутренних и внешних границ водоносных горизонтов в водообмене;
- обоснования гидродинамических моделей многопластовых гидрогеологических систем.

Использование литолого-фациальных карт наиболее эффективно при изучении поровых или порово-трещинных коллекторов. Картирование параметров производится путем прослеживания распространения по площади и в разрезе отдельных литолого-фациальных зон с детальным изучением гранулометрического состава и мощности выделенных литолого-фациальных типов пород и увязки этих данных с результатами опытных работ. В сложно-слоистых системах пород картирование выполняется

на основе тщательного литолого-фациального анализа циклов (ритмов) осадконакопления, выявления степени выдержанности по площади и в разрезе отложений различных фаций.

В качестве примера рассмотрим методику построения карты водопроводимости байосского водоносного горизонта в юго-западной части Днепровского артезианского бассейна.

Байосские континентальные отложения сложены толщей переслаивающихся песков и глин общей мощностью от 20 до 100 м. Их формирование происходило в условиях развивающихся речных долин с частой сменой эрозионных и аккумулятивных циклов. Среди этих образований выделяются следующие типы аллювиальных отложений: русловой аллювий, пойменно-старичный аллювий и дельтовые образования. Для русловой фации характерно преобладание гравелистых песков, пойменно-старичной — разномерных и крупномерных песков, дельтовой — мелко- и тонкомерных песков и глин. Наличие большого количества фактического геологического материала позволило с высокой достоверностью произвести картирование распространения отложений указанных фаций и их мощностей.

Имеющиеся определения водопроводимости крайне неравномерно характеризуют этот горизонт по площади и в разрезе. Использование литолого-фациального анализа позволило выявить наличие пяти циклов осадконакопления. В пределах пачки пород, соответствующей каждому циклу, установлено достаточное постоянство соотношения в разрезе водоносных отложений различных фаций. При этом крупномерные пески составляют 41% мощности пачки, средномерные — 18%, тонко- и мелкомерные — 30%, глины — 11%. В связи со значительной мощностью водоносных отложений опытными скважинами опробовались водоносные породы в пределах только одной такой пачки, каждая из которых ограничена в кровле и подошве глинистыми слоями.

Методом расходомерии было установлено, что фильтрационные свойства пород одних и тех же фаций на разных циклах осадконакопления идентичны. Поэтому значение водопроводимости, отнесенное к суммарной мощности песчаных отложений опробованной пачки, позволило определить усредненное значение коэффициента фильтрации водовмещающих пород, которое впоследствии было использовано для построения карты водопроводимости с учетом изменения суммарной мощности.

При исследовании трещинно-карстовых водоносных горизонтов можно выделить следующие основные закономерности, определяющие изменение интенсивности трещиноватости и закарстованности водовмещающих пород, а следовательно, и их проницаемости по площади:

- уменьшение интенсивности трещиноватости от долин к водоразделам (связь с рельефом);
- уменьшение интенсивности трещиноватости с увеличением глубины залегания водовмещающих пород (связь с нагрузкой на кровлю горизонта);
- усиление трещиноватости на периклиналях и крутых крыльях поднятий по сравнению с отрицательными структурными элементами (связь со структурным положением массива);

— изменение интенсивности трещиноватости при изменении литологического и петрографического состава водовмещающих пород (связь с составом); литологические контакты очень часто являются наиболее резкими границами фильтрационной неоднородности;

— повышение раскарстованности массивов, перекрытых хорошо проницаемыми отложениями по сравнению с участками, перекрытыми водупорными и слабопроницаемыми породами (связь с условиями питания).

Эти закономерности следует учитывать при построении карт водопроницаемости. В качестве примера можно привести карту водопроницаемости мергельно-мелового водоносного горизонта в Волыно-Подольском артезианском бассейне, где была установлена четкая зависимость между коэффициентом водопроницаемости и превышением точки опробования над местным базисом эрозии.

Так как фильтрационные свойства слабопроницаемых отложений зависят в основном от степени развития трещиноватости, то их формирование также определяется в основном вышеперечисленными геолого-структурными факторами. Кроме того, большое значение имеет минералогический состав глинистых пород.

Всесторонний анализ геолого-структурных факторов формирования проницаемости водоносных горизонтов и разделяющих их слабопроницаемых пластов позволяет наиболее обоснованно подойти к построению гидродинамических моделей многопластовых систем и оценке ресурсов подземных вод. Гидрогеологический анализ, выполняемый на таких моделях с учетом данных о пьезометрических поверхностях в естественных и нарушенных условиях и о характере изменения уровня во времени, позволяет произвести уточнение геолого-структурных особенностей района и выявить некоторые черты сингенетического и эпигенетического изменения отложений, а также структуры региона во времени.

В настоящее время имеются положительные результаты применения такого анализа при выявлении и прослеживании гидравлически раскрытых и экранирующих тектонических нарушений, картировании фаций с аномальной проницаемостью, выделении фациальных, структурных и денудационных окон в слабопроницаемых отложениях, при оценке связи орографических элементов со структурными, влияния эрозионных процессов, эпейрогенических и блоковых неотектонических движений на изменение проницаемости пород различных структурных этажей.

Приведем некоторые примеры. Анализ опыта эксплуатации подземных вод каменноугольных отложений в центральной части Московского артезианского бассейна показал резкое различие в депрессионных воронках, сформировавшихся в результате эксплуатации средне- и нижнекаменноугольного горизонтов, достаточно близких по фильтрационным свойствам водовмещающих отложений. Несмотря на то, что отбор воды из среднекаменноугольного горизонта более чем в два раза превышал отбор из нижнекаменноугольного, темпы падения уровня и размеры воронки депрессии в среднекаменноугольном горизонте были значитель-

но меньше, чем в нижнекаменноугольном. Были сделаны предположения, что среднекаменноугольный горизонт получает дополнительное питание через гидрогеологические окна в перекрывающих глинистых отложениях юрского возраста. Анализ геологического материала действительно позволил определить положение древних долин размыва юрских глинистых отложений.

При оценке эксплуатационных запасов подземных вод сарматского водоносного горизонта в Причерноморском артезианском бассейне (междуречье Прут—Днестр) было отмечено явное несоответствие воронок депрессии, сформировавшихся в результате эксплуатации подземных вод на двух соседних площадях развития водоносного горизонта. Если на одной из площадей при отборе около 50 тыс. м³/сут понижение составляло около 45 м, а диаметр воронки не превышал 8—10 км, то на второй площади при дебите водозабора всего 15 тыс. м³/сут понижение составило 90 м, а диаметр более 25 км. Анализ пьезометрических поверхностей показал, что такая картина может быть объяснена только наличием полукранирующих разломов с весьма незначительной водопроницаемостью. Выделение этих разломов, проведенное по данным моделирования, полностью соответствовало современным представлениям о тектоническом строении рассматриваемой территории и имеющимся материалам по развитию разрывных нарушений.

Наличие крупной ослабленной тектонической зоны на одном из участков Тобольского артезианского бассейна было зафиксировано по гидрохимическим аномалиям. В этой зоне были установлены повышенные содержания хлоридов, гелия, гидрокарбонатов, связанные с подтоком углекислых минерализованных вод нижележащего водоносного горизонта через стометровую толщу аргиллито-глинистых пород. Также по гидрохимическим аномалиям в эксплуатируемом кембрийском водоносном горизонте в северной части Прибалтийского артезианского бассейна было установлено наличие погребенных долин, содержащих более пресные воды. Этому способствовал установленный ранее факт опреснения подземных вод кембрийского водоносного горизонта на участках выявленных погребенных долин.

Таким образом, комплексирование гидрогеологических и геологоструктурных исследований позволяет по мере накопления и взаимокорректировки гидрогеологических и геологических данных решать не только задачи по оценке ресурсов подземных вод, но и вопросы тектоники, неотектоники, картирования фаций, палеогеографии, выяснения взаимосвязи структурных и геоморфологических факторов и т.п.

А B S T R A C T

The paper deals with the influence of the geological-structural factors on the conditions of the formation of ground-water resources and with the principles of studying the geological-structural features of the areas under investigation on the basis of hydrogeological information.

В.С. ЗИЛЬБЕРГ, М.С. КРАСС, И.Я. ПАНТЕЛЕЕВ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В настоящее время, учитывая возрастающую потребность в водообеспечении народного хозяйства, оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод в региональной постановке представляет одно из основных и важнейших направлений в гидрогеологической науке.

По своему содержанию это направление охватывает как вопросы разведки подземных вод, так и вопросы оценки их ресурсов. Их решение может быть осуществлено на базе соответствующей системы управления. Система управления должна обеспечивать:

- определение производительности любого количества действующих и проектируемых водозаборов, произвольно размещенных в пределах исследуемой территории и работающих в условиях взаимодействия;
- выявление возможности получения потребного количества воды в любой части региона с учетом совместной эксплуатации существующих и проектируемых водозаборов;
- прогноз развития во времени соответствующих депрессионных воронок.

В связи с этим система управления рассматривается в качестве вычислительного аппарата решения следующих основных задач региональной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод.

1. Прогноз на расчетный период эксплуатации производительности ориентированных водозаборов (действующих и проектируемых в пределах исследуемого региона с заранее закрепленными местами их размещения).

2. Оптимизация производительности ориентированных действующих и проектируемых водозаборов с целью получения на расчетный период времени максимальной суммарной производительности.

3. Оптимизация в пределах исследуемого региона количества водозаборов, их производительности и мест их размещения с целью получения на расчетный период времени необходимого или максимально возможного количества воды.

Для своей реализации система управления требует представления исходной информации в виде, удобном для управления. Наиболее перспективным является представление ее в виде значений искомой функции уровня подземных вод в предварительно установленном дискретном множестве точек исследуемого региона. Получение искомой функции представляет собой результат обработки и решения третьей краевой задачи фильтрации для двумерного в плане потока, которая сводится к установлению реакции возмущения, обусловленной силами, действующими на исследуемую область потока со стороны граничных условий. Реакция возмущения выражается в виде распределения напоров жидкости внутри исследуемой области фильтрации.

Математическое описание полностью определенной системы приводится в виде соответствующего дифференциального уравнения, однозначность решения которого, а также корректность постановки задачи, определяется граничными и начальными условиями. Если работу источника возмущения воспроизвести во всем дискретном множестве точек, то исходную информацию системы управления можно представить в виде модели матричного типа для краевой задачи фильтрации, содержащей на различные моменты времени реакцию возмущения от источника.

В общем виде для любого геофильтрационного процесса это матрица, векторы которой, специально ориентированной сеткой покрывая исследуемую область фильтрации, содержат реакцию возмущения от источника, действующего в каждом векторе. Структура матричных эволюционных моделей определяется видом геофильтрационного процесса, характером изменения граничных условий и параметрами среды, в которой она действует. При этом обязательно выполнение условия обеспечения распространения реакции возмущения по всей исследуемой территории для интервалов времени, позволяющих получить временную зависимость реакции возмущения в пределах всего расчетного времени действия источников возмущения с его максимизированной величиной.

При региональной оценке эксплуатационных ресурсов подземных вод матричные эволюционные модели содержат информацию о развитии депрессионных воронок (или единичных депрессионных воронок), возникающих при работе водозабора для принятого расчетного периода времени.

Формирование их для геофильтрационной области, вписанной в прямоугольный шаблон с m -блоками, осуществляется путем последовательного решения m -вариантов краевой задачи на момент времени $t = t^*$, когда производительность водозаборов Q задана в виде

$$Q = \begin{cases} q, & i = i_0 \\ 0, & i \neq i_0 \end{cases}, \quad (1)$$

где $i_0 = 1, 2, 3, \dots, m$ — водозаборы; q — единичный водоотбор. В рамках линейной задачи или в условиях частичного осушения (не более 20%) мощности водоносного горизонта матричная эволюционная модель имеет вид

$$A = \| \| a_{ij} \| \|, \quad (2)$$

где A — матрица m -го порядка, a_{ij} — элемент матрицы, содержащий реакцию j -го блока прямоугольного шаблона в фиксированный момент времени $t = t^*$ на единичный водоотбор, помещенный в i -м блоке водозабора.

В рамках нелинейной задачи, имеющей место при работе водозаборов в условиях безнапорной фильтрации, для матрица A уже не выполняется условие линейности. В связи с этим расчет нелинейной задачи на отрезке времени от нуля до t^* приближенно замещается расчетом последовательности линейных задач на отрезках времени Δt_k , причем

$$\sum_k^M \Delta t_k = t^*. \quad (3)$$

На каждом интервале времени $t_{k-1} < t < t_k$ решается соответствующая краевая задача с нахождением матрицы

$$A_k = \| \| a_{ij}^{(k)} \| \| . \quad (4)$$

Переход к следующему интервалу времени $t_k < t < t_{k+1}$ означает переключение управления. На весь расчетный период времени t^* , согласно (3), должно быть M переключений.

Для построения (2) и (4) использован численный метод решения дифференциального уравнения параболического типа для напорно-безнапорного однослойного двумерного в плане потока, реализованный на ЭВМ БЭСМ-6. Матричные эволюционные модели (2) или (4) позволяют решать вышеперечисленные задачи.

При прогнозе производительностей $N \leq m$ водозаборов находим такие их величины, при которых понижение от работы самого водозабора $S_1^{\text{расч}}$, помещенного в l -м блоке, суммируемое с понижениями ("срезками") уровня подземных вод от работы влияющих на него водозаборов $\sum_{j=1}^M \Delta S_j$, не превышает допустимое понижение уровня подземных вод $j \neq l$ ($S_l^{\text{доп}}$).

Для определения $S^{\text{расч}}$ зададимся начальным приближением: вектором понижений $\bar{S}(0)$ и вычислим вектор

$$\bar{S}(1) = \bar{S}(0) - A\bar{S}(0) . \quad (5)$$

Далее составляется вектор дополнений "срезок"

$$\bar{S}(2) = A^2 \bar{S}(0) \quad (6)$$

и формируется новый вектор

$$\bar{S}(3) = \bar{S}(2) - A\bar{S}(2) = (E - A)\bar{S}(2) , \quad (7)$$

где E — единичная матрица.

Формулы (6) и (7) являются основными управлениями цикла, формирующего векторы последовательных приближений $\bar{S}^{(2)}$.

Расчетное понижение получается как предел суммы по нечетным индексам

$$S^{\text{расч}} = (E - A)(E + A^2 + A^4 + \dots + A^{2k} + \dots)\bar{S}(0) . \quad (8)$$

В качестве $\bar{S}(0)$ удобнее всего взять $\bar{S}^{\text{доп}}$

Для вычисления получаемой при этом производительности водозаборов необходимо $\bar{S}^{\text{расч}}$ умножить на матрицу единичных производительностей $Q = \| \| q_{i,j,t^*} \| \|$.

При решении задач оптимизации находится такое управление $Q_{(i,j,t^*)}$, чтобы доставить максимум функционалу суммарного водоотбора

$$J = \int_1 Q_{(i,j,t^*)} d_j, d_j . \quad (9)$$

Оптимизация сводится к нахождению такой матрицы A , чтобы при $||\bar{S}|| \leq S_{\max}^{\text{доп}}$ выполнялось условие $M = \min_{\{S\}} \max_i \{S_i\}$.

Оптимизируемая модель имеет вид

$$S = \min_{\{Q\}} \max_{\kappa} \sum_{j=1}^m Q_j |a_{kj}|, \quad (10)$$

а сам процесс оптимизации представляет задачу линейного программирования: максимизировать линейную форму

$$Q = \sum_{j=1}^m \alpha Q_j \quad (11)$$

при линейных ограничениях-неравенствах $Q_j \geq Q_j^*$

$$\sum_{j=1}^m Q_j |a_{ij}| \leq S_i^{\text{доп}}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (12)$$

где Q_j^* — минимально допустимые величины водоотбора.

Если же число водозаборов заранее известно (так же, как могут быть априорно указаны места их размещения), то в этом случае меняется вид сумм в (11) и (12), что само по себе уже сужает область поиска решения.

В случае нелинейной задачи оптимизация проводится внутри линеаризаций на каждом шаге Δt_k .

Изложенный подход представляет собой основу для создания автоматизированной системы управления матричными эволюционными моделями при региональной оценке эксплуатационными ресурсами подземных вод в условиях напорной и безнапорной фильтрации. Наличие мощных быстродействующих компьютеров позволяет осуществить системное программирование в реальном времени, т.е. когда управляющая ЭВМ (или система ЭВМ) связана с объектами эксплуатации непосредственно с помощью терминалов.

Использование матричных эволюционных моделей и управляющих ими систем возможно практически при решении всех краевых задач геофильтрации, к которым относятся и оценка эксплуатационных запасов подземных вод с учетом возможности их восполнения, прогноз подъема уровня грунтовых вод на застраиваемых и уже застроенных территориях, расчет дренажных мелиоративных систем и гидротехнических сооружений, захоронение промстоков.

АБСТРАКТ

The report brings forward methods of solution the problems of estimate the regional operating resources of ground waters with the aid of a system of control over the matrix evolution models of geofiltration. The control information is presented by a matrix with vectors which contain a disturbance reaction of a source acting in every vector. The structure of the matrix evolution models is determined by the nature of a geofiltration

process. Modelling is performed by means of numerical realization of a differential equation of a parabolic type on the computer.

Control over the matrix evolution models of geofiltration comes to the problems of linear and non-linear programming.

The methods suggested can be also applied to solve the geofiltration problems of other types.

УДК 556.01

Т.Б. ГРЕБЕНЩИКОВА, Г.Н. КАШКОВСКИЙ, В.М. ФОМИН

**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНОВ
В ЦЕЛЯХ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Разработка схем комплексного использования водных ресурсов больших территорий требует изучения артезианских бассейнов в целом, как единых гидродинамических систем. Гидрогеологические условия артезианских систем весьма разнообразны и сложны вследствие различных по характеру и количественным соотношениям граничных условий и в обрамлении, и во внутренних частях территории бассейнов.

Реальность достоверного изучения столь сложных условий в их неразрывном единстве может быть обеспечена путем привлечения методов моделирования на вычислительных машинах. Причем моделирование следует рассматривать не только как расчетный метод, а в наибольшей мере как способ анализа и обобщения комплекса геолого-структурного и гидрогеологического материала, как метод, позволяющий с учетом количественных взаимосвязей исследовать гидрогеологические факторы и процессы. Немаловажным является то обстоятельство, что моделирование предоставляет возможность максимально использовать данные многолетних режимных наблюдений за природными процессами.

Информация по территориям артезианских бассейнов, накопленная в результате планомерных съемочных работ, поисков и разведки подземных вод, а также опыт ее обобщения указывают на влияние в формировании ресурсов подземных вод гидравлической взаимосвязи водонапорных комплексов через разделяющие глинистые слои, дренирующей роли рек в краевых частях артезианских бассейнов и разгрузки подземных вод в крупных речных долинах через водоупорные толщи. Все это выдвигает задачу наряду с традиционными методами исследований шире применять способы изучения фильтрации через глинистые слои и привлекать изотопные методы. Полученные при этом сведения могут быть эффективно использованы в комплексе с моделированием в качестве данных по опорным участкам или профилям.

Первоначальным этапом исследований гидрогеологических условий артезианских бассейнов в целях региональной оценки ресурсов подземных вод является изучение их естественных условий. В конечном счете

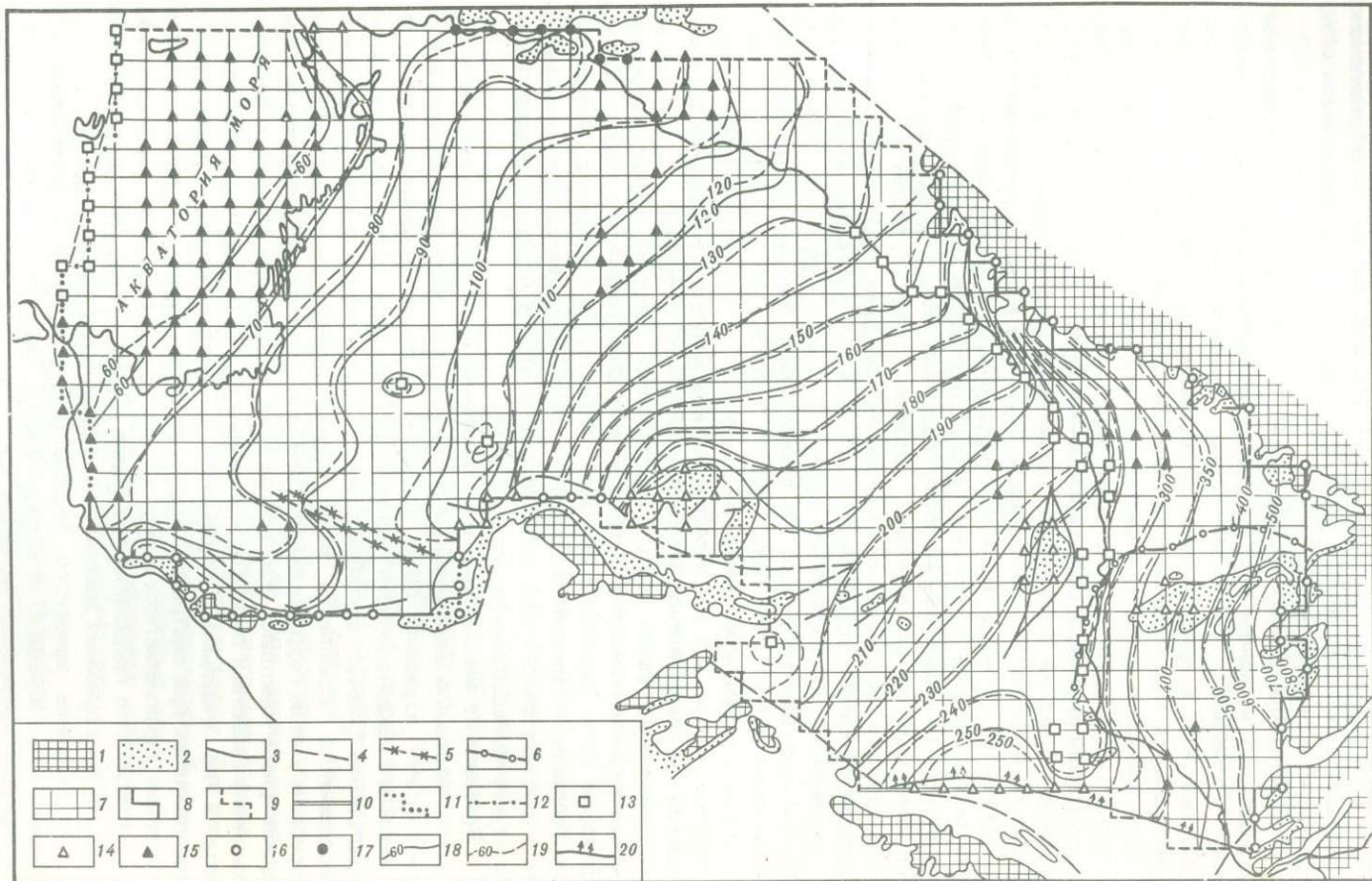
свое количественное выражение эти условия находят в определении составляющих естественных ресурсов подземных вод, отражающих особенности их формирования.

Рассмотрение данных исследований представляется целесообразным осуществить на основе опыта изучения наиболее крупного из артезианских бассейнов Туранской плиты, занимающего площадь около 200 тыс. км² в аридной зоне. С геолого-структурных позиций он рассматривается как сложная синеклиза, выполненная в основном отложениями мелового возраста и неоген-четвертичными осадками общей мощностью 1000—3000 м. Основной водонапорный комплекс бассейна, содержащий пресные и минерализованные воды с температурой 20—70°С, сложен песчаными отложениями верхнего и частично нижнего мела. Залегая большей частью на глубинах 200—1500 м, водоносный комплекс подстилается глинами мела и перекрывается толщей глин палеогена. На северо-востоке и востоке бассейн оконтурен горными массивами, являющимися областями питания подземных вод, а на юге и юго-западе он ограничен зоной поднятий, которые наряду с рядом внутренних приподнятых зон, сложенных меловыми породами, также обуславливают питание основного водоносного комплекса. Это подтверждается данными по содержанию в подземных водах дейтерия и нарушению "фонового" содержания радиоуглерода. На северо-западе бассейн погружается под акваторию моря. На севере развита область выклинивания верхнего водоупора и разгрузки напорных вод мела. Значительное развитие имеют мощные внутренние очаги разгрузки вод мелового комплекса в характерных для аридной зоны бессточных впадинах-солончаках.

Отмеченные выше черты гидрогеологии бассейна нашли отражение на его первичной аналоговой модели, детальной разработке и обоснованию которой было подчинено широкое региональное обобщение имеющихся по бассейну материалов и дополнительное обследование отдельных районов для изотопного опробования вод и отбора образцов разделяющих глин для исследования на проницаемость.

Применение аналогового моделирования для конечного анализа материалов наложило определенный отпечаток на их обобщение. Прежде всего детальному изучению было подвергнуто пространственное положение основного водонапорного комплекса, конечной целью чего являлось построение карты водопроводимости. Стратификационное выделение водоносного комплекса было осуществлено на литолого-фациальной основе с учетом гидродинамического единства слоев, объединяемых в водонапорный комплекс. Распространение по площади данных о фильтрационных свойствах пород, определенных на участках разведки подземных вод и по отдельным скважинам (с соответствующей поправкой), выполнялось при построении карты водопроводимости с учетом литологической характеристики пород и геолого-структурного районирования территории, что представляется более обоснованным, чем по методу интерполяции отдельных значений фильтрационных параметров.

Соотношение основного водоносного комплекса с нижележащими (нижний мел, палеозой) и вышележащими (палеоген-четвертичные) водоносными отложениями изучалось по картам литологии и мощностей раз-



деляющих глинистых толщ и картам соотношения пьезометрических уровней подземных вод. В качестве дополнительного материала анализировались гидрохимические карты и схемы геотермических полей. Количественные оценки фильтрационных свойств разделяющих толщ были сделаны по отдельным пунктам на образцах глин и в значительном количестве по термограммам. Получив большой разброс значений ($1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-7}$) и считая, что точечные определения не отражают свойств массива глин в целом, уточнение параметров перетекания было отнесено к одной из задач исследований на модели бассейна.

Высокие требования были предъявлены к материалам, отражающим гидрогеологические условия по контуру артезианского бассейна, а также во внутренних частях бассейна. Внимание уделялось особенностям гидродинамических условий на участках солончаков, отсутствию мощных водоупоров, выходов песчаных меловых отложений на дневную поверхность, в долине основной водной артерии, на акватории моря и в зонах крупных разломов. Выявляя основные процессы питания и разгрузки подземных вод, в указанных областях выполнялись количественные оценки насколько позволяла исходная информация предыдущих этапов обобщения, данные о характере пьезометрической поверхности потока и др.

Немаловажная роль принадлежит здесь и анализу геолого-структурных особенностей региона.

Вместе с тем окончательные количественные соотношения элементов формирования ресурсов подземных вод устанавливались на аналоговой модели в процессе решения обратной задачи по воспроизведению естественных гидрогеологических условий бассейна. Контролем решения являлось совпадение пьезометрической поверхности на модели с данными наблюдений уровней в скважинах. Полученная в результате решения обратной задачи гидрогеологическая модель бассейна представлена на рис. 1.

Отметим некоторые результаты моделирования, дающие новые представления. Наряду с разгрузкой на солончаках (порядка $2 \text{ м}^3/\text{сек}$) выявлено площадное перетекание вод мелового комплекса через глины верхней разделяющей толщи в четырех районах, включая акваторию моря. В более крупных размерах (более $2 \text{ м}^3/\text{час}$) установлено перетекание в долине реки. Возможности перетекания вод через глинистые толщи зна-

Р и с. 1. Схема гидрогеологической модели мелового водоносного комплекса артезианского бассейна

Выходы на поверхность: 1 — палеозойских отложений, 2 — водоносных меловых отложений. Разломы: 3 — установленные, 4 — предполагаемые, 5 — водоносные, 6 — разломы затрудненной водопроницаемости, заданные на модели, 7 — сетка разбивки модели по осям x и y .

Контурные граничных условий: 8 — 1 рода; 9 — 2 рода (непроницаемый контур), 10 — 2 рода (питание), 11 — 2 рода (разгрузка), 12 — 3 рода (разгрузка). Точки заданий граничных условий: 13 — 3 рода, 14 — 2 рода (питание), 15 — 2 рода (разгрузка), 16 — 1 рода (питание), 17 — 1 рода (разгрузка). Гидроизопьезы: 18 — по данным наблюдений, 19 — по результатам моделирования; 20 — граница распространения мелового водоносного комплекса

чительной мощности могут быть связаны с существенным повышением проницаемости глин при температурах более 50°С и неотектоническими подвижками, имеющими место в зоне речной долины.

Примерно по линии речной долины в целом разгружается более половины фильтрационного потока мелового комплекса, формирующегося на склонах и у подножья горного обрамления на северо-востоке и востоке бассейна. Западнее указанной линии поток пополняется за счет местных областей питания.

Разработанная в результате регионального обобщения и моделирования аналоговая модель гидрогеологических условий артезианского бассейна представляет широкие возможности для выполнения оценки эксплуатационных ресурсов пресных и термоминеральных вод с учетом современных потребностей и перспективного планирования водопотребления.

АБСТРАКТ

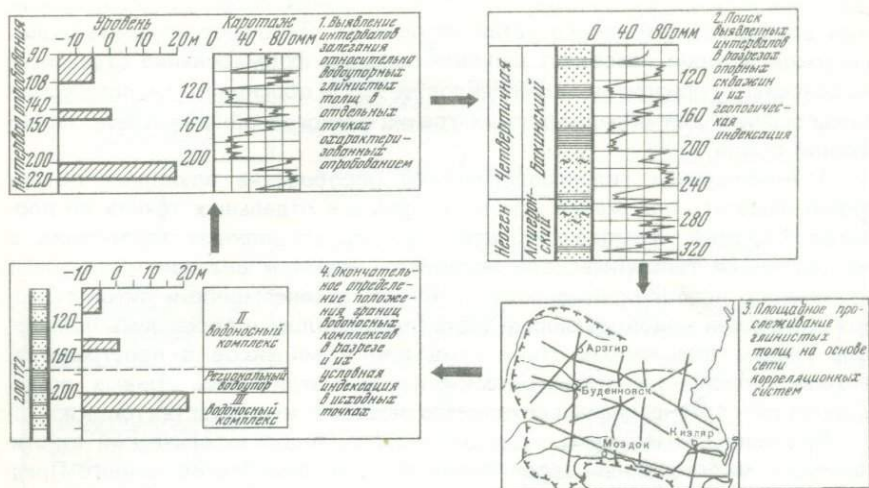
With the object of ascertaining the regularities of groundwater formation the possibilities of survey of the artesian basins can be essentially extended in condition when mathematical modelling of water systems is used as well as the traditional methods surveying the filtration properties of the separated clay layers and isotope concentration in ground water. The application of the mathematical modelling requires to carry out mathematically the hydrogeological information for the estimation of the initial calculated schemes of basin models and also permits to survey the hydrogeological conditions in their variety, taking into consideration the interconnection of the natural factors, defining the formation of ground water resources. The use of complex surveys permits to determine the requirements to the initial information and increase the correctness of the values of ground water resources of large basins.

УДК 556.38

С.М. СЕМЕНОВА-ЕРОФЕЕВА, З.А. ВОДОВАТОВА, А.Н. КЛЮКВИН

ЛИТОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ И ГЕОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗЫ ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Гидрогеологические объекты являются сложными природными водообменными системами, функционирование которых в естественных и нарушенных антропогенными факторами условиях может быть исследовано с помощью гидрогеологических моделей. Модель должна отражать основные закономерности формирования подземного стока и давать новую информацию об исследуемом объекте. Одной задачей, решаемой при построении подобных моделей, является разработка их гидрогеологического обоснования, включающей изучение: структуры моделируемой системы; региональных закономерностей распределения ее параметров; влияния раз-



Р и с. 1. Принципиальная схема исследований по гидрогеологической стратификации многослойных терригенных толщ

личных природных факторов на направленность и интенсивность процессов водообмена внутри системы и через ее границы.

Опыт показывает, что достоверность модели водообменной системы при региональных исследованиях в основном определяется достоверностью ее гидрогеологического обоснования. В то же время модель, построенная только на основе данных гидрогеологического опробования, может лишь весьма схематично отражать природные условия региона, поскольку даже для хорошо изученных территорий объем гидрогеологической информации ограничен. Последнее обстоятельство усугубляется также дискретностью и случайным характером расположения точек гидрогеологического опробования в геологическом пространстве.

В указанном направлении выполнен комплекс исследований на территории Терско-Кумского артезианского бассейна Восточного Предкавказья, где подземные пресные воды приурочены к мощной терригенной толще (до 1000—1500 м), образованной чередованием песчаных и глинистых отложений неоген-четвертичного возраста.

Структура водообменной системы артезианского бассейна определяется: количеством выделяемых в нем водоносных горизонтов, комплексов, этажей; особенностями их распространения; условиями взаимосвязи потоков подземных вод. В настоящее время нет единого мнения о принципах гидрогеологической стратификации различных водообменных систем. По мнению авторов, схема гидрогеологической стратификации должна иметь геологическое и гидрогеодинамическое обоснование, способствовать исследованию водообменной системы и эффективному решению различных практических задач. Разработанная методика изучения структуры водообменной системы основана на комплексном использовании геологической, гидрогеологической и геофизической информации.

Наиболее крупные элементы гидрогеологической стратификации (во-

доносные этажи) могут быть выделены на основе общего анализа основных этапов геологического развития региона. Детальное изучение геологической истории позволяет выявить периоды формирования отдельных водоносных горизонтов, комплексов и т.д. и обосновать геологические предпосылки для определения их границ в многослойном разрезе терригенной толщи.

Поинтервальное гидрогеологическое опробование позволяет объективно наметить положение искомым границ в отдельных точках по площади бассейна. Комплекс стратиграфо-корреляционных построений с привлечением геофизического материала (картаж скважин различного назначения) позволяет исследовать сложные закономерности литологического строения водовмещающей терригенной толщи и проследить положение границ водоносных горизонтов или комплексов в пространстве. По совокупности электрометрических и радиометрических кривых исследуются литолого-фациальный характер разреза и элементы тектоники.

Принципиальная схема исследований по гидрогеологической стратификации многослойных терригенных толщ на примере Восточного Предкавказья показана на рис. 1.

Применение данной методики в условиях Восточного Предкавказья позволило по новому интерпретировать накопленные гидрогеологические материалы и разработать схему гидрогеологической стратификации, более полно отражающую историю геологического развития региона и определившую сложную структуру модели данной водообменной системы.

Литолого-генетический и геоструктурный анализы занимают очень важное место в общей схеме исследований по изучению пространственных закономерностей изменения фильтрационных параметров. Разработанная методика решения этой задачи в условиях мощных многослойных толщ включает шесть основных этапов, охватывающих все виды работ от группировки исходных данных до реализации расчетной схемы на АВМ или ЭЦВМ (рис. 2). Особенностью данной методики является широкое использование на разных этапах не только гидрогеологических, но и геологических и геофизических данных, существенно расширяющих объем анализируемой информации. Так, например, на основе геолого-генетического анализа был сформулирован ряд гипотез о характере неоднородности в пространстве, которые в дальнейшем проверялись анализом данных массового гидрогеологического опробования и геофизических исследований. В частности, использование выявленных зависимостей между фильтрационными свойствами пород и степенью их глинистости (по данным гаммакаротажа) позволило дать оценку степени и характера неоднородности разреза в пределах слабо изученных районов. В связи с этим появилась возможность более обоснованно подойти к районированию изучаемой структуры при составлении схемы задания расчетных параметров, к экстраполяции параметров в пределах слабо изученных площадей.

Анализ литолого-генетических и геоструктурных особенностей региона позволяет не только повысить достоверность гидрогеологического обоснования модели, но и критически осмыслить собственно результаты моделирования и рассмотреть сложный вопрос о степени однозначности

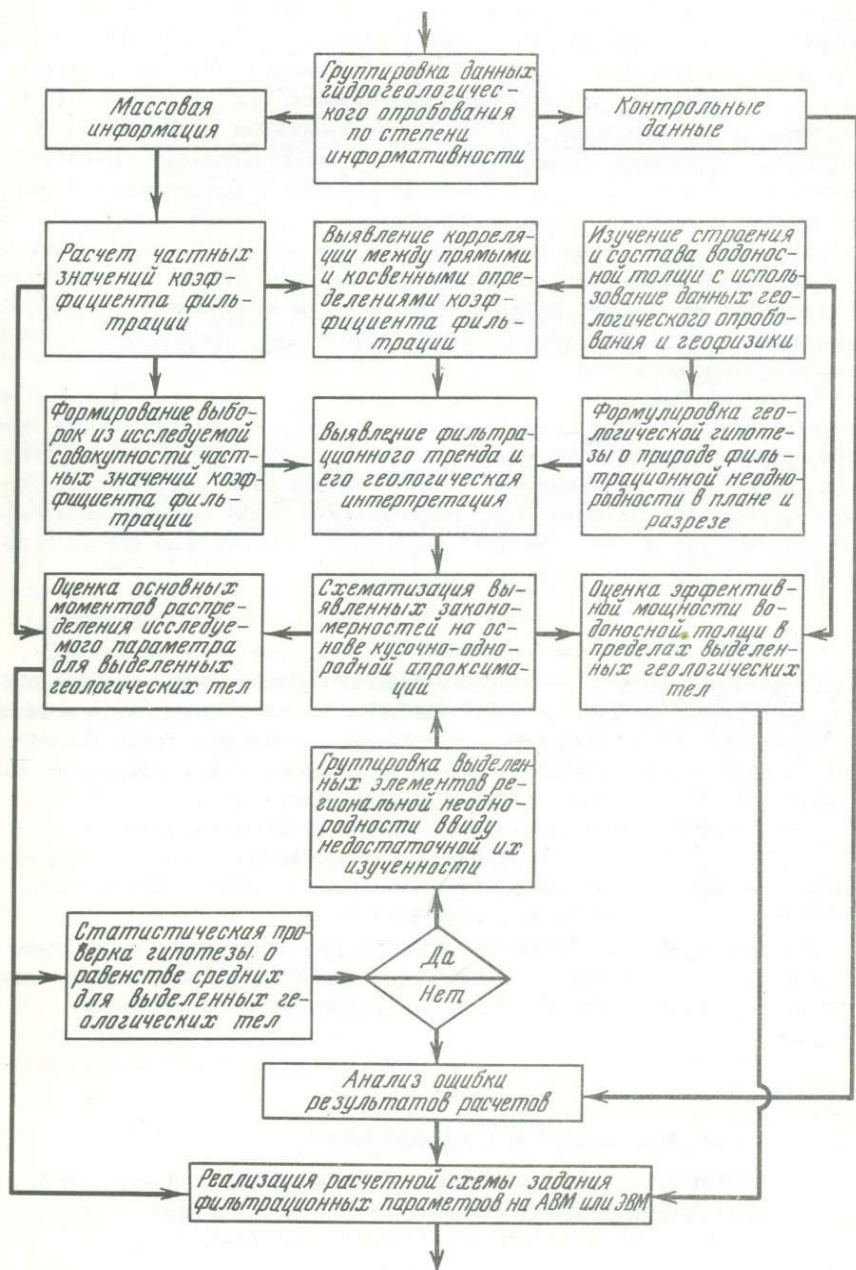


Рис. 2. Принципиальная схема исследования пространственной фильтрационной неоднородности водоносной толщи

решения задачи. При построении модели для Восточного Предкавказья комплексный анализ геологической и гидрогеологической информации позволил количественно оценить степень влияния геологических факторов на интенсивность водообмена через нижнюю границу моделируемой системы, а также между отдельными водоносными комплексами в ее пределах. Выявлена существенная роль многочисленных локальных неотектонических структур, в пределах которых отмечается сокращение мощности глинистых толщ, разделяющих водоносные комплексы, и общее уменьшение глинистости. Контрольные расчеты с использованием гидрогеохимических данных позволили сделать вывод о реальности полученных на модели величин интенсивности водообмена в пределах указанных участков и, соответственно, подтвердить правильность оценки параметров перетекания.

Рассмотренные примеры не исчерпывают всех возможных аспектов использования литолого-генетического и геоструктурного анализа при обосновании гидрогеологических моделей крупных природных регионов. Дальнейшие исследования в этом направлении будут способствовать успешному решению как теоретических задач региональной гидрогеологии, так и практических, связанных с разработкой вопросов рационального использования водных ресурсов.

АБСТРАКТ

Hydrogeologic objects are complex natural water-exchange systems that can be effectively examined with the help of their hydrogeologic models.

Some basic principles of the lithologic-genetic and geostructural analysis of the multi layered terrigenous sections are considered to develop the following aspects of the hydrogeologic models substantiation:

- the study of the structure of the simulated water-exchange system;
- the examination of regional steady characteristics of the filtration of regional steady characteristics of the filtration parameters distribution;
- the estimation of the model reliability.

The technique proposed has been used for the development of the Eastern Precaucasian artesian basin hydrogeologic model that helped to solve a number of important scientific and practical problems.

УДК 556.001.57

В.А. ВСЕВОЛОЖСКИЙ, М.А. ВСЕВОЛОЖСКАЯ

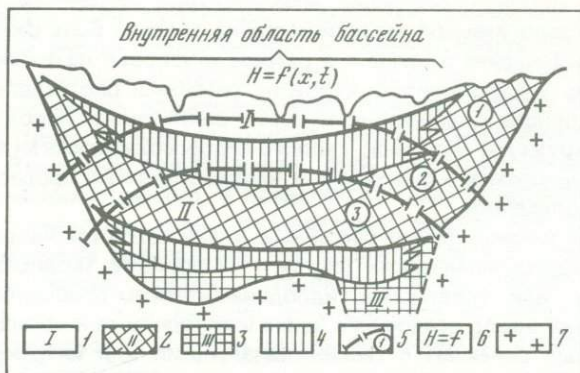
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА ПЛАТФОРМЕННОГО ТИПА

В качестве артезианского бассейна платформенного типа рассматривается геогидродинамическая система или часть системы, пространственно связанная со структурно-тектоническими элементами платформы (плиты, краевые синеклизы), верхние структурные этажи которых представлены толщами полого залегающих или слабодислоцированных преимущественно

но осадочных пород, содержащих межпластовые подземные воды. При обосновании геологической модели бассейна должны быть охарактеризованы: границы бассейна в плане и в разрезе и условия на основных типах границ; общие закономерности строения разреза и распределения фильтрационных свойств водоносных и слабопроницаемых пород; гидродинамическая структура бассейна; геолого-гидрогеохимическая структура бассейна, определяемая характером и направленностью процессов массообмена и массопереноса.

Основными типами границ бассейна в плане являются непроницаемые границы геогидродинамических систем I—II порядка (водоразделы подземного стока) или условные в гидродинамическом отношении границы распространения пород осадочного чехла и фундамента и зоны сочленения плит и краевых синеклиз с геосинклинальными или интракратонными складчатыми областями. Гидродинамическая роль границ бассейна двух последних типов определяется условием $Q = f(x, z)$ или в расчете на геологически длительное время существования системы: $Q = f(x, z, t)$. Верхней (в разрезе) границей бассейна является гидравлически единый уровень грунтовых и поверхностных вод с общим условием $H = f(x, y)$ или $H = f(x, y, t)$. Нижней границей артезианского бассейна платформенного типа является граница распространения (в разрезе) отложений платформенного чехла и пород кристаллического (складчатого) фундамента с гидродинамическим условием $Q = f(x, y)$ или $Q = f(x, y, t)$.

Основным свойством строения геологического разреза бассейна платформенного типа является упорядоченная слоистая неоднородность, генетически обусловленная историей формирования горных пород осадочного чехла платформы. На регионально-структурном уровне схематизации учет пластовой неоднородности разреза определяет необходимость выделения трех гидрогеологических этажей или ярусов бассейна, разделенных регионально выдержанными толщами слабопроницаемых пород (рис. 1). В качестве основного показателя при выделении этажей разреза рассматривается характер взаимосвязи подземных вод с верхней гидродинамической границей бассейна, что определяет необходимость выделения в единый этаж водоносных горизонтов (комплексов): имеющих связь с верхней границей системы на всей площади распространения (I); имеющих открытую связь только на периферии (в краевой зоне) и на структурных поднятиях внутренней области бассейна (II) и не имеющих в современных условиях связи с верхней гидродинамической границей бассейна (III). Исходя из строения формационного ряда древних платформ, положение слабопроницаемых толщ, являющихся границами гидрогеологических этажей бассейна, может быть связано с распространением отложений лагунно-морских и трансгрессивных морских формаций, завершающих начальную стадию тектонического цикла, или с отложениями нижней части морской регрессивной формации (субформация кремнистых глин и опок). В условиях аридного климата (древние платформы) региональные слабопроницаемые раздели значительной мощности могут быть связаны с распространением осадков красноцветных и эвапоритово-красноцветных формаций (красноцветная лагунная и соленосная субформации), а в разрезе осадочного чехла молодых плат-



Р и с. 1. Принципиальная схема (модель) артезианского бассейна платформенного типа

1 — первый гидрогеологический этаж бассейна; 2 — второй; 3 — третий; 4 — регионально выдержанные слабопроницаемые толщи (разделы); 5 — границы и номера гидродинамических зон бассейна; 6 — гидродинамические условия на верхней границе бассейна; 7 — породы обрамления и фундамента

форм — с породами глинистых, кремнисто-терригенных и карбонатно-терригенных формаций (субформаций). Участки и зоны с резкими нарушениями слоистой неоднородности разреза, определяющие возможности вертикальной межэтажной или межслойной гидродинамической связи, всегда являются локальными и могут быть связаны с зонами глубинных и коровых разломов, проявляющихся в осадочном чехле платформы, а также с границами крупных структурных элементов и положительными структурами внутренней области бассейна (сокращения мощностей или фациальные замещения слабопроницаемых пород, развитие соскладчатой трещиноватости, древние эрозионные размывы и т.д.).

Строение гидрогеологического разреза внутри выделенных этажей и региональные закономерности распределения фильтрационных свойств пород определяются условиями распространения трех основных генетических типов геофильтрационных сред осадочного чехла: седиментационно-фациального, литификационно-трещинного и карстующегося. Слоистая неоднородность разреза при резкой анизотропии фильтрационных свойств в латеральном и вертикальном направлении ($Kл \gg Kв$) характерна для сред седиментационно-фациального типа с первично-поровой проницаемостью, преобладающих в разрезе осадочного чехла молодых и в верхних структурных этажах древних платформ. Распределение фильтрационных параметров в средах седиментационно-фациального типа связано с увеличением степени дисперсности обломочного материала при удалении от областей сноса и с диагенетическими и другими процессами, сопровождающими увеличение глубины залегания слоев (морские терригенные, паралические угленосные, прибрежно-морские формации). Резкие изменения фильтрационных свойств наблюдаются на границах распространения отложений различных литофациальных типов (континентальные угленосные формации, покровно-ледниковые, базальные и другие отложения). Преи-

мущественное распространение сред лито-трещинного и карстующегося типов, в которых распределение фильтрационных параметров определяется главным образом состоянием горных пород, характерно для нижних структурных ярусов древних платформ, а также для отложений чехла молодых платформ, литификация которых протекает на стадиях диагенеза и раннего эпигенеза. (карбонатные, терригенно-карбонатные, кремнисто-терригенные формации и др.). В условиях I гидрогеологического этажа бассейна и краевых зон II (см. рис. 1) региональная фильтрационная неоднородность указанных сред формируется под решающим воздействием экзогенных факторов (экзогенный и карстующийся подтипы сред) при сохранении в целом пластового распределения параметров ($Kл > Kв$) и возможностью резких локальных изменений их величин. Вне зоны современного воздействия экзогенных факторов (II и III этажи) бассейна среды лито-трещинного и карстового типа должны рассматриваться как среды со слоисто-блоковой неоднородностью, характеризующиеся в целом относительно низким региональным фоном проницаемости и наличием локальных участков и зон с аномально высокими фильтрационными свойствами и соотношением $Kв > Kл$.

Исходя из рассмотренного выше, основной закономерностью изменения геофильтрационных свойств разреза осадочного чехла является постепенное уменьшение проницаемости в пределах каждого элемента разреза в направлении от периферии к центральным погруженным районам бассейна. Одновременно для однотипных (минералогический состав, гранулометрия и др.) горных пород центральных районов бассейна характерно постепенное уменьшение проницаемости с увеличением глубины их залегания, связанное с уменьшением степени воздействия экзогенных факторов, а также с усилением роли процессов уплотнения и цементации. На фоне регионального уменьшения проницаемости разреза в направлении от периферии к внутренней области бассейна отчетливо проявляется распределение проницаемости II и III порядка, связанное с внутренним структурным планом бассейна, в частности формирование локальных участков и зон с относительно высокой вертикальной проницаемостью разреза (литифицированные толщи II и III этажей бассейна).

Гидродинамическая структура бассейна, определяемая его геологическим строением и условиями на границе системы, характеризуется наиболее полно при выделении трех гидродинамических зон (см. рис. 1) с существенно различными условиями стока и водообмена. В условиях первой гидродинамической зоны (интенсивного водообмена) структура потоков и направления движения подземных вод определяются влиянием верхней гидродинамической границы бассейна и имеют местный характер. Одновременно с этим в краевой части структуры формируется основной объем современного питания глубоких подземных вод бассейна за счет местной инфильтрации и притока из складчатого обрамления бассейна. Во второй гидродинамической зоне бассейна (зоне относительно затрудненного водообмена) расход регионального потока в направлении от периферии к внутренней области бассейна может быть выражен уравнением вида: $q_x = q_0 e^{-\beta L}$, где q_0 — расход потока на внешней границе зоны; L — расстояние от внешней границы зоны; β — эмпирический коэффициент. Рез-

кое уменьшение расходов региональных потоков, формирующихся в краевой зоне питания, связано с наличием интенсивной восходящей разгрузки подземных вод (краевая зона разгрузки), что определяет сокращение (практически до 0) современного притока к внутренней области бассейна и резкое снижение темпов водообмена к внутренней границе второй зоны. В третьей гидродинамической зоне при преобладающей слоисто-блоковой неоднородности среды и ослабленном пластовом притоке из краевых зон бассейна основным видом движения подземных вод является вертикальное межпластовое взаимодействие по локальным участкам и зонам с относительно повышенной проницаемостью ($K_v > K_l$). Причем, исходя из общих закономерностей распределения давлений в пластовой системе бассейна, для внутренней области его следует предполагать главным образом восходящее поступление через нижнюю границу системы и разгрузку в вышележащие интервалы разреза.

Для каждой из выделенных зон характерны свои особенности процессов массопереноса и массообмена, определяющие в комплексе с геологическими условиями гидрогеохимическую структуру бассейна.

В зоне интенсивного водообмена в гумидных условиях она определяется процессами растворения и конвективного переноса вещества с выводом значительной части его из подземной гидросферы в поверхностную.

В связи с отсутствием условий для сохранения относительно легкорастворимых соединений в породах верхней зоны интенсивность этих процессов характеризуется весьма низкими средними значениями модуля подземного химического стока порядка $10^{-3} - n \cdot 10^{-1}$ г/с км² при преобладании в составе H_2SiO_3 (насыщение относительно SiO_2 и CO_3'' (обычно дефицит насыщения)). Сохранение легкорастворимых соединений в условиях зоны интенсивного водообмена может быть связано с породами гипс-ангидритовых, лагунно-красноцветных, морских терригенных (молодые платформы) формаций осадочного чехла, что определяет резкое увеличение модулей химического стока до значений $n \cdot 10$ г/с км² при преимущественном распространении подземных вод SO_4'' , $Cl' - SO_4''$, реже $SO_4'' - Cl'$ состава, близких к насыщению или насыщенным относительно CO_3'' и SO_4'' — ионов в межпластовых горизонтах.

В аридных условиях во внутренней области бассейна объем выноса химических элементов с подземным стоком сокращается за счет зонального уменьшения модулей подземного стока и аккумуляции солей в верхней части разреза в связи с широким развитием процессов континентального засоления. На периферии бассейна и на участках интенсивного местного питания гидрогеохимические условия принципиально не отличаются от таковых в гумидной зоне.

Локальные участки интенсивной разгрузки глубоких более минерализованных вод во всех случаях характеризуются аномальными значениями модуля подземного химического стока и резкими изменениями химического состава вод.

В зоне относительно затрудненного водообмена на участках интенсивной вертикальной разгрузки формируются зоны смешения, где может происходить как растворение, так и осаждение ("геохимические

барьеры") карбонатных, сульфатных, частично хлоридных (Mg) и других солей в зависимости от степени насыщенности природных растворов относительно этих соединений, а также в связи с процессами всаливания-высаливания. Аналогичные гидрогеохимические следствия с постоянным перераспределением вещества в системе "вода-среда" могут иметь: смена окислительно-восстановительных условий, повышение температуры и давления, развитие ряда характерных для этой зоны микробиологических процессов (например, редукции сульфатов) и т.д. "Геохимические барьеры" гидрогеохимического генезиса представляют собой зоны концентрации в земной коре ряда ценных элементов. С глубиной, в связи с фациальным переходом пород в менее проницаемые литологические разности и снижением скоростей потоков, наряду с конвективным массопереносом существенное значение приобретает диффузионный.

Специфическими условиями характеризуется зона относительно затрудненного водообмена внутренней области бассейна (см. рис. 1). В связи с ведущей ролью вертикальной (межпластовой) фильтрации гидрогеохимические условия здесь во многом определяются диффузионным выщелачиванием перекрывающих глинистых отложений, в которых именно вследствие их низкой проницаемости могут длительное время сохраняться легкорастворимые соединения. Неравномерность распределения величин местного питания, связанная с фациальной неоднородностью (литологические окна, участки размыва, разуплотнения, зоны тектонических нарушений и др.), различный комплекс растворимых соединений, сохранившихся в глинах, определяют сложнейшее чередование в пласте подземных вод Cl , $Cl-SO_4$ и SO_4-HCO_3 состава с резкими изменениями минерализации на коротких расстояниях.

В зоне весьма затрудненного стока и водообмена в условиях высоких давлений и температур и ничтожных скоростей движения гидрогеохимические условия близки к равновесным. Массоперенос осуществляется преимущественно диффузионным путем. Достигается насыщение природных растворов хлоридами Na и K. Неравновесность системы определяется наличием вертикального межпластового взаимодействия подземных вод по локальным зонам с повышенной проницаемостью (затрудненная разгрузка), а также, что особенно важно, за счет поступления через нижнюю границу бассейна глубинных растворов, конденсатов газов, органических веществ. Следует предположить, что именно глубинная составляющая является причиной формирования разнообразных гидрогеохимических аномалий в нижней гидродинамической зоне.

АБСТРАКТ

Substantiation of an artesian basin model, being the greatest struction-hydrogeological element of continental platforms, is considered to involve first the characteristic of the main basin boundary types and the conditions along them, secondly the regularities of an internal geological-hydrogeological structure of an object under issue and its hydrodynamic structure, thirdly — the analysis of the principal hydrogeochemical processes in a system.

It is also shown in our paper, that at a regional-structural level of schematization singling out the main stratificational-hydrogeological basin elements with essentially different conditions of mass transfer and mass exchange is determined in the first place by a stratified heterogeneity of a basin geological section and by the hydrodynamic conditions at the upper boundary of the system. Basin individual elements have been taken into consideration, types and properties of sedimentary cover, geophysical media, structures underground waterflows and water exchange conditions being characterised and geological-hydrogeochemical conditions and processes being analysed.

УДК 553.7 + 553.78 + 661.424

В.А. МИРОНЕНКО, В.А. КИРЮХИН, А.И. КОРОТКОВ

УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ И КАЧЕСТВОМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ

Эксплуатация крупных горнодобывающих предприятий приводит к истощению ресурсов и ухудшению качества подземных вод в районах добычи полезных ископаемых. При дренаже месторождений откачиваются большие объемы воды (сотни и тысячи м³/час), что вызывает формирование вокруг карьеров и шахт депрессионных воронок радиусами в десятки километров; одновременно осушение водоносных горизонтов серьезно нарушает сложившееся в районе гидрохимическое равновесие. С другой стороны, гидроразвалы, хвостохранилища и прочие технические водоемы, сопутствующие горным работам, могут являться источниками интенсивного дополнительного питания и в то же время загрязнения подземных вод.

Изменения гидрологической обстановки чаще всего носят региональный характер: нарушается положение областей питания крупных структур, усиливается взаимосвязь между водоносными горизонтами и подземными бассейнами посредством перетекания, меняется весь водный баланс района. Наиболее значительные изменения такого рода происходят в закрытых артезианских структурах, где под влиянием горного дренажа обычно отмечается необратимое сокращение ресурсов подземных вод. Последнее может быть связано с интенсивной сработкой упругих запасов водоносных пластов, а в районах аридной зоны — и с постепенным перемещением контуров обводненности пластов вдоль наклонно залегающих водоупоров. На фоне этих региональных процессов обычно фиксируется резкое перераспределение динамических запасов структуры между отдельными водоносными комплексами — в зависимости от условий вскрытия последних горными или дренажными выработками, а также от проницаемости разделяющих пластов. Изменение гидродинамического баланса открытых водоносных структур локализуется, при прочих равных условиях, обычно на меньших площадях. Основную роль в такой локализации играют: естественные водотоки и водоемы, претерпевающие инверсию —

из областей стока они превращаются в области питания; инфильтрационное питание, интенсифицирующееся в результате нарушения рельефа, частичной ликвидации покровных отложений и понижения уровней грунтовых вод; крупные технические водоемы. Благодаря последним в некоторых районах со временем формируется устойчивый водно-балансовый цикл — количество воды, откачиваемое дренажными системами, компенсируется фильтрацией из гидроотвалов и хвостохранилищ. Чаще всего в горнодобывающих районах создается напряженный водный баланс, поскольку отбор подземных вод дренажными системами не регулируется питанием водоносных горизонтов. Существенными могут быть и изменения гидрохимической обстановки, связанные со смещением вод, различных по своему химическому составу, с интенсивным протеканием окислительных процессов, нарушением газового режима водоносных горизонтов, с появлением новых компонентов, связанных с переработкой добываемого полезного ископаемого. В ряде районов интенсивный дренаж водоносных толщ приводит к поступлению на поверхность соленых вод и рассолов, сброс или утилизация которых превращаются в самостоятельную проблему.

Опыт эксплуатации горных предприятий свидетельствует о том, что главная задача в управлении ресурсами и качеством подземных вод горнодобывающих районов сводится к установлению оптимальных для конкретной гидрогеологической обстановки соотношений между объемами подземных вод, отбираемыми дренажными системами и возвращаемыми в водоносные горизонты (естественным или искусственным путем). Понятие оптимальности при этом предполагает эффективность системы горного дренажа при одновременном широком использовании дренажных вод для практических целей (в том числе и для хозяйственно-питьевого водоснабжения), с обеспечением сохранения качества вод в пределах действующих нормативов. Исходя из сформулированной задачи управления становятся очевидными и основные направления гидрогеологических исследований в горнодобывающих районах: 1) оценка и прогноз гидродинамического режима подземных вод с учетом упомянутых изменений в условиях питания и взаимодействия водоносных пластов и прежде всего восполнения их ресурсов за счет инфильтрации из технических водоемов; 2) оценка и прогноз гидрохимического режима подземных вод в условиях их возможного загрязнения водами технических водоемов, а также с учетом изменений взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами; 3) обоснование системы мероприятий (активного и контрольно-предупредительного характера), обеспечивающих охрану подземных вод от истощения и загрязнения, а также предусматривающих рациональное использование вод, откачиваемых дренажными системами шахт и карьеров.

По первому из упомянутых здесь направлений основное внимание должно уделяться изучению: граничных условий на контурах рек и естественных водоемов, для чего широко используются результаты режимных наблюдений; условий перетекания — по данным опытно-фильтрационных работ и режимных наблюдений (том числе — гидрогеотермических); гидродинамического режима вблизи технических водоемов, особенно на

участках, экранированных слабопроницаемыми отложениями. Последняя задача является наиболее сложной, ибо традиционные методы исследований, основанные на использовании стандартных опытных наливов, показали себя в этих условиях малоэффективными; в частности, они не учитывают бокового растекания воды в слоистых грунтах, изменений проницаемости при уплотнении под весом техногенных отложений и ряда других факторов. Поэтому на практике должны применяться крупномасштабные наливывы с наблюдениями за перемещением фронта увлажнения с помощью нейтронных индикаторов влажности, термометрии, запуска инертных индикаторов. Полученные данные позволяют оценить граничные условия третьего рода на контуре водоема и провести в последующем моделирование гидродинамического режима в районе его расположения.

По второму направлению главное значение имеет изучение миграционных параметров водоносных горизонтов, определяющих интенсивность процессов массопереноса в подземных водах. С этой целью должны широко применяться опытно-миграционные работы в сочетании с лабораторно-экспериментальными исследованиями. Полевые опыты особенно важны в трещиноватых и трещинно-пористых породах, которые характеризуются большими скоростями движения подземных вод, сочетающимися, в случае пород с двойной пористостью, с диффузионными и сорбционными эффектами. Наиболее надежные значения миграционных параметров получают при запуске индикатора по схеме кустового налива. Однако для успеха опыта исключительно важно его всестороннее планирование путем разведочных расчетов. Последующая интерпретация обычно может вестись по расчетной схеме неограниченной емкости — в трещинно-пористых породах или по схеме микродисперсии — в трещиноватых. Для предварительного выявления фильтрационной неоднородности опробуемого разреза на опытном участке могут с успехом применяться резистивиметрия и расходиметрия. Лабораторные опыты являются полезным дополнением, особенно к полевым работам, в свете изучения сорбционных эффектов. Большое значение при этом имеет выявление условий миграции наиболее важных для практической оценки опасности загрязнения химических компонентов, связанных с конкретной горно-технологической схемой.

Результаты проведенных исследований дают исходную основу для управления ресурсами и качеством подземных вод. Так, регулирование ресурсов может быть обеспечено варьированием степени экранирования технических водоемов — путем создания искусственных экранов, направленного намыва слабопроницаемых "хвостов" и др. Дополнительное искусственное восполнение ресурсов достигается путем перевода поверхностного стока в подземный или повторного сброса откачиваемых шахтных вод через специальные инфильтрационные бассейны и скважины. В частности, посредством нагнетательных скважин может создаваться "гидро-завеса", ограничивающая распространение пьезометрической воронки в районе карьерного (шахтного) поля.

Перечисленные мероприятия гидродинамической направленности оказывают серьезное регулирующее влияние и на качество подземных вод. Помимо них, управление процессами загрязнения предполагает всесторонний учет самоочищения воды при фильтрации ее через горные породы

(благодаря сорбционным эффектам, ионному обмену, разрушению неустойчивых соединений при длительном переносе и т.д.). Регулирование процессов самоочищения может достигаться как дифференциацией скоростей фильтрации (интенсивности водоотбора), так и искусственным перераспределением расхода потока по отдельным элементам водоносной системы (например путем соответствующего оборудования фильтров дренажных устройств или созданием на них понижений, исключающих прямое поступление воды из комплексов пород со слабыми "очищающими" свойствами). Наконец, управление качеством вод ведется с помощью регулирования состава проток в бассейнах их накопления — путем осаждения солей, отстаивания взвесей, интенсификации сорбционных процессов на техногенных отложениях и т.п.

Необходимым условием эффективного управления ресурсами и качеством подземных вод в горнодобывающих районах является тесная увязка горного дренажа со схемой водообеспечения района — по линии максимального использования дренажных вод для водоснабжения. Опыт показывает, что в ряде районов открываются широкие возможности и для организации питьевого водоснабжения на основе дренажных вод. Наиболее серьезные ограничения в этой связи, помимо состава откачиваемых вод, налагают требования надежной санитарной охраны водозаборов — дренажей. Однако, проведенный анализ показывает, что упомянутые требования часто могут быть соблюдены даже при наличии в пределах зоны санитарной охраны горных выработок и поверхностных сооружений, соответствующих горному производству. Конечно, в этом варианте должны быть проанализированы "буферные" свойства пород зоны аэрации, что требует предварительного изучения процессов массопереноса в ненасыщенных срезах, методика которого пока разработана очень слабо.

Важнейшим звеном управления ресурсами и качеством подземных вод является режимная наблюдательная сеть гидрогеологических скважин как непосредственно на карьерном (шахтном) поле, так и за его пределами. Следует подчеркнуть, что вытекающая задача из сформулированных выше принципов детального изучения качества вод, подлежащих откачке дренажными системами, предъявляет к организации и обслуживанию режимной сети ряд новых требований. В частности, оказывается, что общепринятые критерии оптимального расположения и опробования наблюдательных скважин, ориентирующиеся на изучение гидродинамических условий карьерного (шахтного) поля, не отвечают требованиям гидрохимического изучения, а в некоторых аспектах даже противоречат им. Поэтому задача оптимизации режимной сети применительно к рассматриваемой проблеме требует еще специального анализа. Слабо разработанными представляются и многие вопросы методики гидрохимического опробования, например, проведенные исследования выявили недостаточную предварительность проб воды, отбираемых из наблюдательных скважин в соответствии с действующими ныне стандартами. Особого внимания заслуживает применение при опробовании гидрофизических методов (в первую очередь резистивиметрии), дающих наиболее объективные оценки представительности отобранных проб.

В заключение подчеркнем, что главными условиями эффективного применения указанных принципов управления ресурсами и качеством вод в горнодобывающих районах являются: комплексный характер изысканий и проектирования, ориентированных на одновременное решение задач дренажа горных выработок и охраны подземных вод; широкое использование адаптационного подхода, основанного на постепенном уточнении расчетных моделей на базе поэтапного накопления информации по ходу разведки, строительства и эксплуатации горных предприятий; анализ и научное обобщение данных по представительным объектам, где получены надежные миграционные и фильтрационные параметры, проверенные в процессе эксплуатации решением соответствующих обратных задач. Последние два аспекта представляются особо важными и потому, что при изучении рассматриваемой проблемы приходится во многом опираться на идеи и методы недостаточно апробированные практикой и существенно выходящие за рамки традиционных гидрогеологических работ. Вместе с тем накопленный к настоящему времени опыт исследований в ряде крупных горнорудных районов (Курская магнитная аномалия, Прибалтийские месторождения сланцев и фосфоритов) убедительно свидетельствует об экономической эффективности и перспективности изложенного здесь комплексного подхода.

ABSTRACT

The construction and exploitation of large mining enterprises lead to depletion of ground-water resources and water pollution in mining regions. The main problem in monitoring of ground-water resources and water quality in mining development regions amounts to finding out of optimum ratio between ground-water quantities infiltrating into these aquifers.

The principle aims of hydrogeological investigations in mining development regions are: 1) The estimation and prediction of the hydrodynamic regime with regard to the conditions of ground-water resources replenishment; 2) The estimation and forecast of the hydrogeochemical regime under possible mining pollution; 3) Choosing of a properly designed monitoring programme and control measures to protect ground water from depletion and pollution as well as to provide for the rational use of drainage water.

During hydrogeological investigations the main attention should be paid to study: a) boundary conditions on the contours of rivers and ponds; b) leakage conditions; c) migration parameters of the aquifers; d) physical and chemical parameters of oxidation zone.

The main prerequisites for effective groundwater resources and water quality monitoring in mining development regions are as follows: 1) Complex approach to prospecting and designing; 2) Extensive realization of adaptable approach based on calibration of initial model during mineral fields exploration, construction and exploitation of mining enterprises; 3) Analysis and generalization of data on representative objects where reliable seepage and migration parameters as well as physical and chemical parameters checked by inverse problems solution have been derived.

В.А. БАРОН

ПРОГНОЗ РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДООТДАЧИ ПОРОД ВО ВРЕМЕНИ

Показатель степени заполнения порового пространства зоны аэрации водой при подъеме уровня грунтовых вод или стекания воды из осушаемой части пласта при снижении уровня не является константой для данного типа пород. В первые периоды нестационарного режима фильтрации он оказывается существенно зависящим от времени и скорости изменения уровня. Во времени он увеличивается, изменяясь в пределах величин порядка $10^{-2} - 10^{-1}$. Пренебрежение указанным обстоятельством может привести к ошибкам как в результатах определения гидрогеологических параметров безнапорных пластов, так и гидрогеологических расчетов.

Анализ режима уровня грунтовых вод, формирующегося в безнапорном пласте, сложенном суглинистыми отложениями или песком, а также специально проведенные лабораторные эксперименты в фильтрационной колонке со среднезернистым песком показали, что наблюдаемую закономерность изменения водоотдачи и недостатка насыщения пород во времени можно учесть, если зону полного водонасыщения рассматривать совместно с зоной неполного водонасыщения, моделируя последнюю как водоносный горизонт. Такой же эффект можно получить, если представлять безнапорный водоносный горизонт гетерогенной системой.

С учетом сказанного уравнение плано-плоского потока грунтовых вод представляется в виде

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = a \mu \int_0^t \frac{\partial h}{\partial \tau} e^{-a(t-\tau)} d\tau, \quad (1)$$

где h — уровень грунтовых вод, отсчитываемый от подошвы пласта, k — коэффициент фильтрации; $a \sim 10^{-1} \div 10^{-2}$ 1/сут — константа, определяющая интенсивность изменения водоотдачи или недостатка насыщения пород во времени; μ — разность между пористостью и влажностью пород в зоне аэрации от начала изменения уровня; x, y, t — соответственно координаты пространства и времени.

В уравнении (1) отсутствует составляющая, учитывающая упругую емкость пласта, которая определяется как $\mu' \partial h / \partial t$, где μ' — коэффициент упругой водоотдачи пласта (при снижении уровня) или коэффициент упругого недостатка насыщения (при подъеме уровня).

Специально проведенный анализ показал, что пренебрежение упругой емкостью пласта приводит к уменьшению расчетной скорости изменения уровня грунтовых вод вблизи рассматриваемой границы пласта и к ее увеличению на некотором удалении от границы. Однако возникающие при этом погрешности расчета не представляют практического интереса.

Таблица 1

Значения функции $f(\theta, \bar{x}, \beta)$

$\theta \bar{x}$	0,1	0,25	0,5	1,0	1,5	$f(\theta, \bar{x})$
$\beta = 0,1$						
0,1	0,907	0,790	0,630	0,409	0,286	0,912
0,3	0,916	0,808	0,659	0,446	0,322	0,920
0,5	0,923	0,824	0,684	0,480	0,355	0,926
1	0,938	0,856	0,736	0,550	0,425	0,940
5	0,974	0,937	0,877	0,763	0,657	0,973
10	0,978	0,947	0,897	0,796	0,695	—
$\beta = 0,5$						
0,1	0,873	0,751	0,599	0,389	0,281	0,613
0,3	0,888	0,774	0,631	0,427	0,316	0,642
0,5	0,899	0,795	0,659	0,461	0,347	0,668
1	0,922	0,835	0,716	0,533	0,416	0,719
5	0,973	0,935	0,874	0,758	0,652	0,854
10	0,978	0,947	0,896	0,795	0,695	0,870

Примечание. $f(\theta, \bar{x})$ — значения функции $f(\theta, \bar{x}, \beta)$ в случае, когда не учитывается вертикальная составляющая в скорости фильтрации и $\bar{x} = \beta$.

При расчетах подпора грунтовых вод или определении гидрогеологических параметров обычно принимается, что если граница рассматриваемой области фильтрации совершенна по степени вскрытия пласта и изменения уровня относительно небольшие, то фильтрационный поток можно принимать плоскопараллельным. Только в случае несовершенной по степени вскрытия пласта границы указывается на необходимость учета неоднородности потока [1, 2]. Однако анализ поля скоростей и фильтрационном потоке свидетельствует о том, что пренебрежение вертикальной составляющей скорости может привести к существенным ошибкам расчета.

Так, например, в случае мгновенного подъема уровня грунтовых вод на границе однородного безнапорного пласта на величину ΔS изменение уровня грунтовых вод в пласте S определяется функцией

$$S = \Delta S f(\theta, \bar{x}, \beta), \quad (2)$$

где

$$f(\theta, \bar{x}, \beta) = 1 - \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin \xi \bar{x}}{\xi \operatorname{th} \xi \beta + 1} \exp\left(-\frac{\theta}{\frac{\beta}{\xi} \operatorname{cth} \xi \beta + 1}\right) \frac{d\xi}{\xi},$$

$$\beta = m \sqrt{\frac{a}{a}}, \quad \bar{x} = x \sqrt{\frac{a}{a}}, \quad \theta = at, \quad a = \frac{km}{\mu},$$

m — средняя мощность пласта. Некоторые значения функции $f(\theta, \bar{x}, \beta)$ приведены в табл. 1. В этой же таблице приведены результаты решения

0,1	0,25	0,5	1,0	1,5	$f(\theta, x)$
$\beta = 0,3$					
0,892	0,775	0,619	0,401	0,284	0,735
0,903	0,795	0,649	0,639	0,320	0,750
0,913	0,813	0,676	0,473	0,352	0,775
0,931	0,848	0,729	0,544	0,422	0,810
0,973	0,937	0,876	0,761	0,655	0,895
0,978	0,947	0,896	0,795	0,695	—
$\beta = 1$					
0,823	0,682	0,534	0,342	0,261	0,385
0,843	0,713	0,570	0,381	0,293	0,430
0,861	0,740	0,602	0,416	0,323	0,465
0,894	0,793	0,669	0,491	0,388	0,514
0,970	0,929	0,864	0,743	0,626	0,720
0,917	0,946	0,894	0,792	0,691	0,790

аналогичной задачи для случая, когда вертикальная составляющая скорости фильтрации не учитывалась. Как следует из приведенных данных, только на расстоянии порядка мощности пласта и более пренебрежение вертикальной составляющей скорости фильтрации приводит к ошибкам, не превышающим 10%.

Решение (2) может быть использовано для определения условий, при которых можно не учитывать изменение гравитационной водоотдачи пород во времени. Как следует из приведенных данных, только при $\theta > 1 \div 2$ ошибка, обусловленная условием $\mu = \text{const}$, оказывается

небольшой. При $\lambda = \frac{x}{2\sqrt{at}} < 0,5$ она не превышает 8 — 10%. Однако

с уменьшением времени наблюдений эта ошибка увеличивается, достигая 30 — 35% при $\lambda = 1$ и 55 — 65% при $\lambda \geq 1,5$. Поэтому чем короче период наблюдений нестационарного режима фильтрации, тем больше возможна ошибка расчета. Практически только с момента установления квазистационарного режима фильтрации можно не учитывать изменение величины водоотдачи пород во времени и для расчетов использовать решения фундаментального уравнения Буссинеска.

Решение уравнения (1) осуществляется с помощью методов моделирования или численным методом, для чего правая часть уравнения представляется в виде конечной суммы.

В случае использования электроинтегратора моделирование проводится по схеме Либмена. Алгоритм решения уравнения (1) численным методом при использовании равномерной прямоугольной сети с шагом по пространственной координате $\Delta x = \Delta y = \Delta l$ и временной Δt для любого

узла сетки i, k в момент времени $(j + 1) \Delta t$ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 h_{ik}^{j+1} = & h_{ik}^j + \frac{e}{2\Delta l^2 a\mu} \left[(h_{k,i+1}^j - h_{k,i}^j)(k_{k,i-1} h_{k,i-1}^j + k_{k,i} h_{k,i}^j) + \right. \\
 & + (h_{k,i}^j - h_{k,i+1}^j)(K_{k,i} h_{k,i}^j + K_{k,i+1} h_{k,i+1}^j) + (h_{k-1,i}^j - h_{k,i}^j) \times \\
 & \times (K_{k-1,i} h_{k-1,i}^j + K_{k,i} h_{k,i}^j) + (h_{k,i}^j - h_{k+1,i}^j) (K_{k,i} h_{k,i}^j + \\
 & \left. + K_{k+1,i} h_{k+1,i}^j) \right] + \frac{\epsilon_{k,i} e}{a\mu} - \sum_{n=1}^j (h_i^n - h_i^{n-1}) e^{-a(t-n\Delta t)},
 \end{aligned} \quad (3)$$

где k — номер столбца, i — номер строки сетки, которой покрыта рассматриваемая область фильтрации, ϵ — питание грунтовых вод.

Аналитические решения уравнения (1) могут быть получены после его линеаризации, выполняемой методом Буссинеска, т.е. осреднения проводимости пласта, или методом Багрова Н.Н. и Веригина Н.Н.,

в соответствии с которыми производится замена $\frac{\partial h}{\partial t}$ на $\frac{1}{2h} \frac{\partial h^2}{\partial t}$.

Необходимые для гидрогеологических расчетов параметры a и a определяются по данным режимных наблюдений с помощью соответствующей для рассматриваемой расчетной схемы аналитической зависимости методом эталонных кривых.

Так, в случае однородного однослойного пласта, на границе которого начался подъем уровня с постоянной скоростью v , изменение глубины залегания грунтовых вод на расстоянии x от границы пласта определяется как

$$S = v t f_1(\theta, \bar{x}), \quad (4)$$

где

$$f_1(\theta, \bar{x}) = 1 - \frac{2}{\pi\theta} \int_0^{\frac{-\xi\theta}{1+\xi}} \left(1 - e^{\frac{-\xi\theta}{1+\xi}}\right) \sin\left(\xi, \bar{x}\right) \frac{d\xi}{\xi^3}$$

приведена на рис. 1.

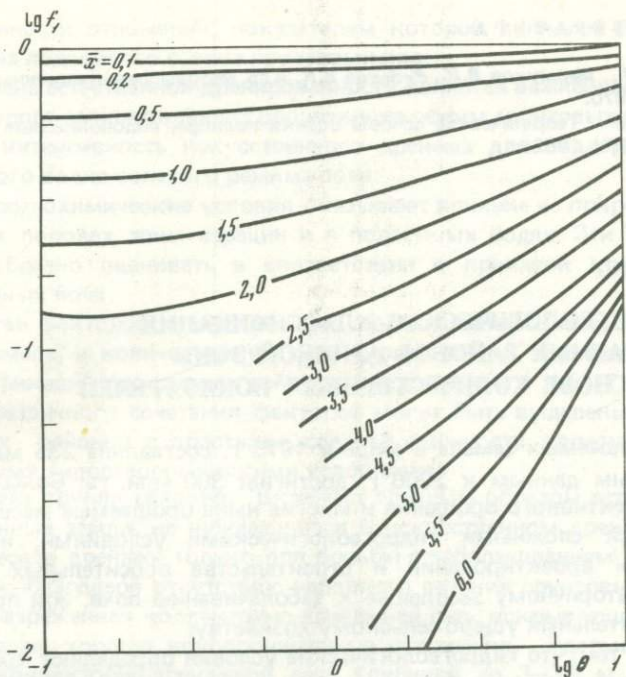
При наличии режимных наблюдений за уровнем грунтовых вод вблизи реки, когда в ней происходит подъем уровня с постоянной скоростью, представляется возможность получить экспериментальную зависимость $S(t)$.

Из (4) следует, что

$$\lg \frac{S(t)}{vt} = \lg f_1(\theta, \bar{x}) \quad (5)$$

и

$$\lg \theta = \lg a + \lg t. \quad (6)$$



Р и с. 1. Значения функции $j_1(\theta, \bar{x})$ при фиксированных значениях \bar{x}

Из сопоставления (5) и (6) следует, что ординаты билогарифмических кривых зависимости $\lg \frac{S}{vt}$ от $\lg t$ и $\lg f_1$ от $\lg \theta$ сдвинуты на величину a . Поэтому путем наилучшего совмещения экспериментальной кривой относительного изменения уровня грунтовых вод с эталонными кривыми $f_1(\theta, \bar{x})$, построенными при фиксированных \bar{x} (см. рис. 1), определяется соответствующее рассматриваемым условиям значение \bar{x} и, следовательно, a/a . По смещению осей $\lg f_1(\theta, \bar{x})$ относительно $\lg \frac{S}{vt}$ определяется a .

Аналогичным способом находят гидрогеологические параметры для других расчетных схем.

АБСТРАКТ

The paper shows the necessity of considering a variation in the storage coefficient of rocks in time when calculating the filtration in unconfined aquifers. The technique of calculating the regime of the unconfined groundwater level and the principal hydrogeological parameters with allowance for the above factor is presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Веригин Н.Н., Шержуков В.К., Рудаков В.К.* и др. Методы фильтрационных расчетов. М.: Колос, 1970.
2. *Шестаков В.М.* Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М.: Изд-во МГУ, 1962.

УДК 551.496

Д.М. КАЦ

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОРОШАЕМЫХ РАЙОНОВ АРИДНОЙ ЗОНЫ НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Площадь орошаемых земель в мире в 1975 г. составляла 235 млн. га и по прогнозным данным к 2000 г. достигнет 300 млн. га. Большинство земель перспективного орошения и многие ныне орошаемые массивы характеризуются сложными гидрогеологическими условиями, недоучет которых при проектировании и строительстве оросительных систем приводит к вторичному засолению, к заболачиванию почв. Эти процессы наносят значительный ущерб сельскому хозяйству.

В связи с тем, что гидрогеологические условия определяют принципиальную схему и методы мелиорации орошаемых земель, условия проведения мелиоративных мероприятий, особое значение приобретает гидрогеологическая классификация орошаемых районов, отражающая сложность мелиоративного освоения земель. Такая классификация необходима для прогнозов режима грунтовых вод и обоснования мероприятий по его регулированию. Кроме того, гидрогеологическая классификация, если она базируется на количественных показателях, позволяет использовать опыт регулирования режима грунтовых вод, полученный в одних районах, для обоснования мелиоративных мероприятий в районах-аналогах и этим сократить затраты времени и средств на гидрогеологические изыскания.

Анализ гидрогеологических условий и опыта регулирования режима грунтовых вод в орошаемых районах СССР и зарубежных стран показал, что решающее значение для типизации гидрогеологических условий имеют: климат, геологическая история региона и его геоструктура, геоморфологические условия, геофильтрационная схема, степень естественной дренированности земель и общие гидрогеохимические условия. Роль указанных факторов целесообразно оценивать по количественным показателям, придающим такой оценке объективный характер.

Количественные показатели климатических условий орошаемых районов аридной и полуаридной зон дифференцируются для пустынных, полупустынных, сухостепных и степных районов. От степных районов к пустынным нарастает интенсивность процессов испарения, что обуславливает рост минерализации грунтовых вод и засоленности пород зоны аэрации, осложняющих гидрогеологическую и мелиоративную обстановку.

Геоструктурные, геоморфологические и гидрологические условия и характер геофильтрационных схем определяют степень естественной дре-

нированности отложений, показателем которой является потенциальная величина подземного оттока грунтовых вод.

«Степень естественной дренированности является важнейшим фактором, от которого зависят влияние орошения на режим грунтовых вод и необходимая интенсивность искусственного дренажа для поддержания благоприятного водно-солевого режима почв.

Гидрогеохимические условия оказывают влияние на природные запасы солей в породах зоны аэрации и в подземных водах. Эти запасы солей целесообразно оценивать в соответствии с принятой классификацией засоленных почв.

Состав факторов, определяющих гидрогеологические условия орошаемых земель, и количественная оценка ряда из них, положенная в основу классификации орошаемых районов, представлена в табл. 1. В зависимости от различного сочетания факторов могут быть выделены группы орошаемых районов с простыми, средней сложности, сложными и весьма сложными гидрогеологическими условиями.

Первая группа районов. Включает главным образом естественно дренированные земли, не нуждающиеся в искусственном дренаже или нуждающиеся в дренаже только для борьбы с заболачиванием почв. В таких районах, благодаря отсутствию напорного питания грунтовых вод, достаточно разреженная коллекторно-дренажная сеть, вскрывающая неглубоко залегающие хорошо водопроницаемые отложения. Удельная протяженность коллекторно-дренажной сети глубиной до 3—3,5 м составляет в среднем всего 10—15 пог. м/га. В геоморфологическом отношении к данной группе принадлежат горные склоны и предгорные равнины с расчлененным рельефом или сложенные хорошо водопроницаемыми отложениями привершинные части конусов выноса, нижние и средние галечниковые террасы рек в межгорных впадинах и др.

Вторая группа. К этой группе относятся естественно дренированные земли со слабым напорным питанием грунтовых вод и слабодренированные земли при отсутствии напорного питания. Для этих районов характерна повышенная водопроницаемость покровных отложений (0,5—1,0 м/сут) и водопроницаемость подстилающих отложений свыше 500 м²/сут. Дренаж необходим для борьбы с заболачиванием почв или со слабым засолением. Благоприятный водный и солевой режим почв обеспечивается при удельной протяженности коллекторно-дренажной сети (глубиной 3—3,5 м) до 25—30 пог. м/га. Это районы несовершенных конусов выноса, некоторые межадырные впадины, террасы рек на платформах и др.

Третья группа. Включает весьма слабо дренированные и бессточные земли при отсутствии напорного питания грунтовых вод, слабодренированные массивы при наличии слабого или среднего напорного питания и другие районы формирования минерализованных грунтовых вод с преимущественно простыми гидрогеохимическими условиями. В зависимости от геофильтрационной схемы, значения параметров и величины напорного питания грунтовых вод необходимый солевой режим почв достигается при удельной протяженности дренажа до 50—70 пог. м/га. Примеры геоморфологических условий районов данной группы: субазральные дельты

Таблица 1

Природные факторы, определяющие типы гидрогеологических условий

Климатическая зона	Геоструктуры	Геоморфологические условия	Гидрографические и гидрологические условия	Геофильтрацион	
				схемы строения пласта	
Степная, полупустынная, пустынная	Орогенная группа районов: — горные поднятия и склоны, — межгорные впадины и прогибы, — предгорные краевые и передовые прогибы	Межадырные впадины, предгорные равнины, конусы выноса (совершенного и несовершенного типов), аллювиальные террасы, дельты рек (в межгорных низменностях)	Реки дренируют территорию; — реки питают грунтовые воды; — характер связи грунтовых вод с рекой изменяется в течение года; — гидравлической связи грунтовых вод с рекой нет	Однопластовая (одно- и двухпластовая), многопластовая	
	Платформенная группа районов: — прогибы и впадины платформ, — поднятия	Субаэральные дельты, аллювиальные террасы, водораздельные массивы, древние и современные приморские дельты, приморские низменности			

рек, зоны слабого выклинивания подземных вод на конусах выноса, приморские дельтовые равнины и др.

Четвертая группа. Весьма слабо дренированные и бессточные земли при наличии среднего, сильного и очень сильного напорного питания грунтовых вод, те же земли при отсутствии напорного питания, но находящиеся в сложных гидрогеохимических условиях. В таких районах требуемая интенсивность дренажа (глубиной 3–3,5 м) может достигать в разных условиях 100–120 пог. м/га. Примеры районов: зоны выклинивания подземных вод повышенной минерализации; содовые грунтовые воды центральных частей межгорных впадин; водораздельные массивы, сложен-

орошаемых земель

ные схемы		Зона естественной дренированности	Гидрогеохимические условия	Природные запасы токсичных солей в породах зоны аэрации
гидродинамические параметры	характер водоносных горизонтов и их взаимосвязь			
Коэффициенты фильтрации и водопроницаемости по градиентам, соответствующим ухудшению условий работы горизонтально-го и вертикального дренажа: — коэффициенты фильтрации более 0,5 м/сут; 0,5–0,1; 0,1–0,01; 0,01–0,001 и менее — коэффициенты водопроницаемости более 1000 м ² /сут, 1000–500, 500–200, 200–100 и менее 100 м ² /сут	Грунтовые воды. Единые водоносные комплексы грунтовых и напорных (или субнапорных) вод; — уровень грунтовых вод постоянно выше пьезометрического уровня; — уровень грунтовых вод периодически выше или ниже пьезометрического уровня или совпадает с ним; — уровень грунтовых вод постоянно ниже пьезометрического уровня (напорное питание): слабое— до 1 тыс. м ³ /га в год, среднее— 1–2, сильное— 2–3 и очень сильное— более 3 тыс. м ³ /га	Интенсивно-дренированная (подземный отток более 5 тыс. м ³ /га в год), дренированная (3–5 тыс. м ³ /га), слабодренированная (1,5–3 тыс. м ³ /га), весьма слабо дренированная (0,5–1,5 тыс. м ³ /га), практически бессточная (подземный отток менее 0,5 тыс. м ³ /га в год)	Простые. Сложные: — районы развития солоненных коренных пород, — районы реликтового и современного морского засоления пород; — районы подпитывания грунтовых вод минерализованными напорными водами; — районы солянокупольной тектоники, грязевых вулканов и др.; — районы развития содовых грунтовых вод	Соответствуют степени засоления пород: — слабой и незасоленным, — средней, — сильной, — очень сильной

ные мощной толщей глинистых отложений с весьма низкой водопроницаемостью (менее 0,1–0,01 м/сут) и др. Затраты на мелиорацию в районах данной группы, характеризующихся содовым засолением, возрастают не только в связи со строительством частой дренажной сети, но и из-за необходимости применения химвелиорантов при промывке засоленных земель.

Для иллюстрации сложности мелиоративного освоения земель выше использована удельная протяженность коллекторно-дренажной сети. Однако для регулирования режима грунтовых вод может применяться не только горизонтальный дренаж, но и вертикальный, а также комби-

нированный. Выбор типа дренажа определяется на основе технико-экономического сравнения разных вариантов. Однако при любом варианте необходимая интенсивность дренажа будет возрастать от районов с простыми гидрогеологическими условиями к районам с весьма сложными условиями.

Представленная классификация и состав определяющих ее показателей одновременно определяют круг основных вопросов, подлежащих изучению в процессе гидрогеолого-мелиоративных исследований, проводимых для обоснования проектов орошения земель.

А B S T R A C T

On the base of hydrogeological experiences there was proposed a set of quantitative indices, which allow to typify irrigated districts in accordance to soil reclamation complicity.

УДК 556.332.5 : 552.5

В.Н. ОСТРОВСКИЙ

ЗОНАЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ГУМИДНЫХ И АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ И ТЕОРИЯ ЛИТОГЕНЕЗА

За последние десятилетия гидрогеология развивалась главным образом по пути обособления отдельных направлений, постепенно превращающихся в самостоятельные науки. Значительно меньше внимания уделялось общим вопросам, главным из которых является формирование подземных вод, теснейшим образом связанное с процессами массоэнергo-обмена в земной коре и литогенезом. Одним из важнейших положений теории литогенеза, разработанной Н.М. Страховым [4], является идея о типах литогенеза, которых им выделяется четыре: гумидный, аридный, ледовый и вулканогенно-осадочный. Первые три типа (климатические) определяются балансами атмосферной влаги и солнечной радиации, последний — участием в энергетическом балансе внутреннего тепла Земли. Эти же критерии положены в основу ряда классификаций, описывающих распределение и формирование подземных вод в земной коре. В связи с этим автором было выделено четыре типа формирования подземных вод: гумидный, аридный, мерзлотный и термальный [2, 3].

Гумидный тип формирования подземных вод характерен для областей избыточного и достаточного увлажнения при отсутствии многолетней мерзлоты (зона выщелачивания грунтовых вод, по Г.Н. Каменскому). Аридный тип приурочен к областям засушливого климата (зона континентального засоления, по Г.Н. Каменскому). Мерзлотный тип характерен для областей распространения многолетнемерзлых пород. Термальный тип формирования подземных вод наблюдается в областях развития современного вулканизма. На основе выделенных типов формирования подземных вод можно по-новому осветить закономерности гидрогеоло-

гических процессов, в том числе особенности зональности подземного стока в гумидных и аридных условиях, которые и будут рассмотрены ниже.

Характерной чертой гумидного типа литогенеза Н.М. Страхов считает его автохтонность, т.е. образование осадков за счет собственных седиментационных ресурсов гумидных областей. Такой же особенностью отличается и гумидный тип формирования подземных вод, в условиях которого питание осуществляется за счет атмосферных осадков, выпадающих на территории гумидных зон. Испарение здесь меньше осадков, поэтому имеется более или менее постоянный речной сток, в формировании которого важное значение принадлежит подземному стоку. При установлении общих закономерностей формирования подземного стока в гумидных областях (Б.И. Куделин, Ф.А. Макаренко, О.В. Попов и др.) была выявлена широтная зональность подземного стока и решающее влияние в ее формировании климатических условий. Эта зональность настолько хорошо выражена, что может быть описана эмпирическим уравнением, как это сделано, например, для Восточно-Европейской платформы [3].

$$a_n = -5,3 (d - 1,8)^2 + 11,2,$$

где a_n — коэффициент подземного стока; d — дефицит влажности воздуха, мм.

Подземный сток, являясь одним из главных звеньев круговорота природных вод, зависит также от энергетики экзогенных процессов, основным источником которой является солнечная радиация. На основе эмпирической зависимости, установленной Г.П. Калининым и М.И. Тюнцевой [1], из уравнения Шрайбера получена формула, связывающая величину подземного стока на равнинах Восточно-Европейской платформы с балансами тепла и влаги:

$$y = \frac{\frac{-R}{Lr}}{\beta_1 + r \cdot e^{-R/Lr}},$$

где y — слой подземного стока, мм; r — среднегодовые осадки, мм/год; R — радиационный баланс, ккал/см² в год; L — скрытая теплота испарения воды, ккал; α_1 и β_1 — безразмерные коэффициенты.

Широтная зональность подземного стока в гумидных зонах нарушается рельефом, крупные формы которого всегда обусловлены тектонически. Следовательно, для подземного стока справедлива одна из основных закономерностей экзогенных процессов, сформулированная Н.М. Страховым [4]: "Из двух соперничающих факторов — тектоники и климата — главным является тектонический режим". Интенсивность подземного химического стока при гумидном типе формирования подземных вод в равнинных условиях зависит главным образом от ресурсов тепла и влаги. В северных широтах он достигает 0,4 г/с с 1 км² при радиационном балансе от 30 до 50 ккал/см² в год и радиационном индексе сухости 0,5—1,5.

Важной особенностью аридного породообразования является наличие двух подтипов литогенеза — автохтонного и аллохтонного [4]. По аналогии нами выделяются соответствующие подтипы формирования подземных вод. При автохтонном подтипе подземные воды формируются за счет собственных водных ресурсов аридных зон. Аллохтонный подтип формирования развит в областях, где основным источником формирования подземных вод является сток, поступающий из гумидных зон. Существование аллохтонного подтипа формирования подземных вод связано с геотектоникой, так как горные сооружения преимущественно тяготеют к "аридным" широтам $30-40^\circ$, что является следствием деформации земного эллипсоида под действием приливных сил, прецессии и нутации, математически доказанной А. Веронне, А. Пуанкаре, А. Стовасом.

При автохтонном подтипе зональность подземного стока определяется преимущественно морфоструктурными факторами, причем в положительных морфоструктурах сток значительно выше, чем в отрицательных. Так, в Центральном Казахстане наибольшие модули подземного стока (до $0,8-1,0$ л/с с км^2), отмечаются с Улутау — Арганатинском антиклинории, выраженном поднятием рельефа. Наименьшие модули подземного стока ($<0,1$ л/с с км^2) характерны для Джезказганской и Тенизской впадин, морфологически представляющих собой равнины с низкой активностью водообмена.

При аллохтонном подтипе формирования подземных вод их питание происходит за счет речных вод, поступающих из гумидных зон. Так, на территории равнинного Узбекистана, где преимущественно развит аллохтонный подтип формирования подземных вод за счет стока рек, формируется около 529 м³/с подземных вод, или $86,5\%$ их общих естественных ресурсов. Огромные ресурсы подземных вод формируются на предгорных равнинах, которые по интенсивности подземного стока являются в СССР уникальными гидрогеологическими структурами, даже по сравнению с гумидными районами. Следует отметить, что предгорные равнины по мощности грубообломочных осадков и скоростям их накопления не имеют равных среди континентальных формаций, в связи с чем Д.В. Наливкин предложил для предгорных прогибов термин "континентальные геосинклинали". Следовательно, основной объем аллохтонного подземного стока формируется в областях наиболее интенсивного проявления седиментационных процессов. В количественном выражении в областях формирования аллохтонного подземного стока образуется более 75% всех естественных ресурсов подземных вод аридных зон СССР. Здесь также отмечаются четкие параллели с литогенезом. Так, Н.М. Страхов считает, что из вертикальной и горизонтальной гумидных областей в аридные зоны поставляется главная масса взвешенного и особенно растворенного материала.

При аллохтонном подтипе формирования подземных вод зональность подземного стока определяется гидрогеодинамическими факторами. При движении подземных потоков по направлению к областям разгрузки аллохтонного стока — центральным частям бессточных впадин — происходит их трансформация, причем выделяется ряд площадных гидрогеологических зон, выражающихся в ландшафтных особенностях местности.

Наличие двух подтипов формирования подземных вод в аридных зонах усложняет их площадную зональность, поэтому не удастся выявить влияния на нее климатических факторов даже в пределах таких обширных территорий, как равнинный Казахстан. Например, здесь, в подзоне умеренно засушливой степи при среднем количестве осадков 295 мм средневзвешенный модуль подземного стока равен 0,35 л/с с км², а в ландшафтах средней пустыни, где осадков в два раза меньше (135 мм), модуль подземного стока в два раза больше (0,70 л/с с км²). Таким образом, в отличие от гумидной зоны на площадное распространение подземных вод в аридной зоне большее влияние оказывают структурно-геологические, чем климатические факторы.

Интенсивность подземной химической денудации в аридной зоне определяется прежде всего геоструктурными и связанными с ними геоморфологическими факторами. Она достигает максимума в областях развития аллохтонного подтипа формирования подземных вод на предгорных равнинах. Для аллохтонного подтипа формирования подземных вод характерен содовый эпигенетический процесс. Это связано с тем, что с аллохтонным стоком в аридную зону поступают огромные объемы пресных вод, часто с повышенным содержанием натрия. При взаимодействии этих вод с породами в условиях засушливого климата развиваются процессы содообразования, что ведет к формированию областей содового соленакопления, примером которых могут являться Кура-Араксинская низменность и Чуйская впадина.

АБСТРАКТ

The paper examines the relationship between the formation of ground water and processes of lithogenesis. By analogy with the theory of lithogenesis, it is proposed to divide the formation of ground water into four types: humid, arid, permafrost and thermal. This gives an opportunity to examine a number of hydrogeological regularities differently. It is shown that with the humid type of ground-water formation the zonal distribution is determined by the balance of sun radiation and precipitation. Under arid conditions, this distribution mainly depends on geological factors. In the formation of the ground water of the arid zone of the USSR, the river runoff from humid areas is prime importance.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин Г.П., Тютюнцев М.И. Пространственно-временное распределение соотношений подземного и общего речного стока. — В кн.: Формирование ресурсов вод суши. М.: Наука, 1971.
2. Островский В.Н. Формирование подземных вод и теория литогенеза. — Литология и полезные ископаемые, 1966, № 4.
3. Островский В.Н. Формирование подземных вод в аридных районах Казахстана. Л.: Гидрометеиздат, 1976.
4. Стрехов Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963.

С.Ш. МИРЗАЕВ

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ РОЛЬ В ОБЩЕМ ВОДНОМ БАЛАНСЕ АРИДНЫХ РАЙОНОВ

Общеизвестна особая роль водных ресурсов в экономике аридных районов, типичным примером которых является Средняя Азия. Подземные воды рассматриваются как часть общих водных ресурсов таких районов. Установление перспектив широкого хозяйственного освоения этих вод возможно лишь на основе выявления их региональных запасов, закономерностей формирования, размещения и роли их в общем водном балансе. При этом особое значение имеет решение последней задачи, связанной со спецификой водохозяйственных и гидрогеологических условий аридных районов с интенсивно развитой ирригацией. Ресурсы поверхностных вод этих районов ограничены и к настоящему времени или полностью освоены, или находятся у порога полного освоения. Распределение воды между водопотребителями осуществляется довольно густой ирригационной сетью. Борьба с вторичным засолением и заболачиванием почв осуществляется сетью коллекторов, горизонтальных и вертикальных дрен.

Наиболее водообильные водоносные горизонты (комплексы) пород приурочены здесь в основном к четвертичным отложениям зоны интенсивного водообмена. Достаточно большие запасы пресных и слабоминерализованных подземных вод в них формируются главным образом за счет фильтрационных потерь из естественных водотоков и ирригационной сети, а расходуются на выклинивание в речной, ирригационной и коллекторно-дренажной сети, а также на испарение с близкозалегающего от поверхности уровня грунтовых вод. Между поверхностными и подземными водами существует тесная гидравлическая и балансовая связь. На этом базируется вся сложившаяся система орошаемого земледелия. В связи с этим главная особенность подхода к изучению и обоснованию перспектив хозяйственного освоения запасов подземных вод таких территорий заключается в изучении подземных вод как неразрывной части общих водных ресурсов и доказательстве возможности получения прироста общих водных ресурсов или повышении коэффициента их полезного использования в процессе эксплуатации подземных вод. Оценке и картированию региональных запасов подземных вод предшествует специальное гидрогеологическое районирование территорий, которое должно обосновать не только контуры распределения запасов подземных вод, но и учитывать балансовое и гидравлическое единство подземных и поверхностных вод [2].

При установлении принципа оценки региональных эксплуатационных запасов подземных вод следует исходить из справедливости разделения их на потенциальные и перспективные [3]. В первом случае речь идет о предельных значениях таких запасов, отражающих потенциально возможную величину отбора подземных вод в течение определенного рас-

четного срока и поэтому являющихся внекатегорийными, забалансовыми. Перспективные же запасы должны отражать реально возможную величину, которая может быть хозяйственно освоена при достигнутом и планируемом уровне технической оснащенности с определенной экономической эффективностью. Такие запасы согласно действующей инструкции ГКЗ категорийны. В аридных районах с ограниченными водными ресурсами основной интерес представляют возобновляемые перспективные эксплуатационные запасы подземных вод. Этим не отрицается возможность временного увеличения эксплуатационного отбора подземных вод за счет частичной сработки их естественных запасов при решении частных задач. При такой постановке вопроса величина перспективных восполняемых региональных эксплуатационных запасов подземных вод приравнивается к величине их динамических ресурсов, определяемых с учетом их изменения при эксплуатации.

Основным методом оценки динамических ресурсов подземных вод в районах с развитым орошаемым земледелием является балансовый. Перевод естественных динамических ресурсов подземных вод в категорию эксплуатационных запасов, а также прогноз изменения их в процессе отбора осуществляется соответствующими расчетами для определенных схем водозаборных сооружений, выбираемых исходя из конкретной гидрогеологической обстановки и требований возможных водопотребителей.

Прогноз изменения запасов подземных вод в результате водохозяйственной деятельности человека представляет собой особую задачу исследований. Она может быть успешно разрешена также на основе анализа структуры водного баланса и прогнозирования изменений величин его отдельных составляющих в ожидаемых условиях.

Региональное изучение запасов подземных вод аридных районов выдвигает в качестве обязательных условий необходимость оценки величин ущерба ресурсам поверхностных вод от отбора подземных вод. Различают прямой и косвенный ущерб. Прямой ущерб складывается из размера перехватываемого выклинивания подземных вод и дополнительных потерь из поверхностных водотоков в процессе отбора подземных вод. Величина такого ущерба определяется исходя из баланса подземных вод и расчета водозабора с учетом его влияния на поверхностный сток. Установлено, что расчетный способ [1] определения такого ущерба поверхностному стоку применим лишь в определенных условиях и не может быть рекомендован для орошаемых районов с густой сетью ирригационных каналов, коллекторов и дрен.

Под косвенным ущербом понимается уменьшение оросительной способности водотока. Это связано с уменьшением продуктивного испарения с близкозалегающего уровня грунтовых вод при их эксплуатации. Размер такого ущерба определяется на основе расчета оросительных норм при различных глубинах залегания уровня грунтовых вод.

В задачу работ по изучению региональных эксплуатационных запасов подземных вод аридных районов следует включать и оценки экологических последствий широкого отбора подземных вод. При этом следует учитывать как положительные, так и отрицательные воздействия этого

мероприятия на экологическую систему. Если положительный эффект состоит в возможностях получения дополнительной воды, рационализации использования водных ресурсов, управления их режимом, облегчения решения проблемы охраны вод, мелиорации почвы и т.д., то отрицательное воздействие отбора подземных вод заключается в возможном его влиянии на почвообразовательный процесс, условия субиригации, на оросительные и поливные нормы и качество поливов и, следовательно, на агротехнику возделывания сельхозкультур, плодородие почвы и т.д.

Методика решения перечисленных задач во многом не разработана. Ответ на эти вопросы целесообразно построить путем обобщения имеющегося опыта ведения орошаемого земледелия. В силу этого необходима постановка специальных опытно-производственных исследований по решению указанных задач в конкретных условиях.

Установлена целесообразность отражения результатов изучения региональных запасов подземных вод на трех специализированных картах: 1) специального гидрогеологического районирования, 2) динамических и естественных (статических) запасов и 3) эксплуатационных запасов подземных вод. В соответствии с детальностью и стадиями проектных разработок различаются 4 группы карт по масштабу, в соответствии с которыми и определяется их нагрузка [2].

Руководствуясь изложенной целью и методикой, большим коллективом гидрогеологов в 1963—1977 гг. изучались региональные запасы подземных вод основных водоносных горизонтов и комплексов республик Средней Азии. При этом получены следующие основные результаты.

По основным закономерностям формирования запасов подземных вод, их роли в общем водном балансе и, следовательно, их значению в народном хозяйстве вся территория Средней Азии разделяется на три резко различных типа, охватывающих: горные (гидрогеологические) массивы, внутригорные, межгорные впадины и долины рек (артезианские бассейны горноскладчатой области) и равнинно-пустынную область (артезианские бассейны платформенного типа).

Общая величина динамических запасов подземных вод горных массивов в Средней Азии составляет около $1075 \text{ м}^3/\text{с}$ или $34 \text{ км}^3/\text{год}$. Они формируются исключительно за счет инфильтрации атмосферных осадков; более 90% этих запасов расходуется на выклинивание, и за их счет образуется от 20 до 50% (в среднем около 35%) стока рек. Подземный отток с гор совершается в основном по долинам рек в виде подрусловых потоков. Отбор их может быть произведен лишь для местного водопотребления, так как извлечение любого количества воды здесь скажется на балансе речного стока или подземных вод прилегающих территорий.

В пределах внутригорных, межгорных впадин и речных долин основной практический интерес представляют подземные воды четвертичных отложений. Закономерности их формирования весьма сложны. Между подземными и поверхностными водами существует теснейшая взаимосвязь. В этой зоне Средней Азии формируется около $900 \text{ м}^3/\text{с}$ подземной воды. Образуются они на 85—95% за счет потерь

поверхностных вод. Расходятся они (за вычетом части, которая тратится на испарение и транспирацию) на выклинивание (70—75% динамических запасов), образуют так называемые возвратные воды.

Запасы подземных вод впадин и долин могут быть использованы в основном в качестве местного источника водоснабжения. При отборе их для орошения, несомненно, возможно получение прироста водных ресурсов за счет сокращения непродуктивного испарения и достижения мелиоративного эффекта. Наличие здесь огромных статических запасов подземных вод позволяет использовать для орошения весь годовой объем восполнения в течение только вегетационного периода в постоянных размерах, независимо от водности года.

Равнинная область характеризуется весьма неравномерным распространением и пестрым качеством подземных вод. Большие запасы вод повышенной минерализации в орошаемой зоне, где они формируются исключительно за счет потерь речной ирригационной воды, а расходуются на сток в коллекторно-дренажную сеть и на испарение. В собственно пустынной зоне единственным источником формирования скудных запасов подземных вод являются атмосферные осадки. Расходятся эти воды на сток в бессточные впадины с последующим испарением с их поверхности.

В целом в этой зоне Средней Азии формируется около $500 \text{ м}^3/\text{с}$ подземной воды пестрой минерализации, из которых более 95% приходится на долины и дельты реки Амударьи и ее притоков. Роль подземных вод в народном хозяйстве здесь весьма велика.

Следовательно, закономерности формирования, размещения запасов подземных вод и их связь с поверхностными водами в аридных районах с развитой ирригацией весьма разнообразны и достаточно сложны. Изучение их требует специального методического подхода. Расшифровка закономерностей формирования запасов подземных вод является научной основой определения роли подземных вод в общем водном балансе региона, оценки перспектив их хозяйственного освоения, а также установления направления и объемов разведочных работ на воды в тех или иных частях региона.

А B S T R A C T

In arid zones ground water is considered as an important component of the totality of water resources. To evaluate the ground-water resources means to determine their role in the water balance.

As all river water in these regions is regulated, ground-water resources should be evaluated taking into account the influence of their exploitation on surface waters, the existing ecological system and agrotechnical conditions of irrigated agricultural lands. Special attention should be paid to forecasting the influence of the reconstruction of the water system on the ground-water resources.

The main method of solving this problem is studying, mapping and analysis of the water balance. All this will help us to discover the main regularities of the ground-water formation and distribution, and to com-

pose scientific principles for the determination of their role in the total water balance and the perspectives of their rational utilization.

The results of the ground-water resources investigations within Central Asia are given here as an example.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минкин Е.Л. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач. М.: Стройиздат, 1973.
2. Мирзаев С.Ш. Формирование и размещение запасов подземных вод Узбекистана, вопросы методики их изучения и проблемы хозяйственного использования. Ташкент, Фан, 1974.
3. Плотников Н.И. Поиски и разведка пресных подземных вод для целей крупного водоснабжения. М.: Изд-во МГУ, 1968.

УДК 556.1

А.Е. БАБИНЕЦ, В.М. ШЕСТОПАЛОВ, Д.Р. ЛИТВАК

ВОДООБМЕН В АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНАХ ПЛАТФОРМЕННОГО ТИПА УКРАИНЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ УСЛОВИЯХ

Комплексные геолого-гидрогеологические исследования, выполненные в последние годы на Украине, позволяют уточнить гидрогеологическую структуру территории республики и выявить ряд особенностей водообмена, определяющих условия формирования ресурсов подземных вод верхних гидродинамических зон артезианских бассейнов платформенного типа.

В основу гидрогеологического районирования положен геоструктурный принцип. В соответствии с геологическим строением территории платформенной части республики выделяются следующие гидрогеологические районы первого порядка: область трещинных и пластово-поровых вод Украинского щита, Вольно-Подольский, Припятский, Днепровский, Причерноморский, Донецкий артезианские бассейны. В пределах гидрогеологических районов первого порядка намечены районы второго порядка.

Выделенные гидрогеологические районы определяют геолого-структурные, литолого-фациальные особенности емкости, в которой распространены подземные воды, условия взаимосвязи водоносных горизонтов. Но динамика подземных вод верхних гидродинамических этажей и, следовательно, условия формирования ресурсов подземных вод в значительной мере определяются также особенностями орогидрографии территории, связанной с неотектоническим этапом развития структуры. Исследованиями последних лет установлено, что распределение пьезометрических максимумов и минимумов напорных водоносных горизонтов, направленность уклонов уровней подземных вод и вертикального водообмена между этажно залегающими горизонтами через слабопрони-

цаемые отложения определяется современной орогидрографией регионов. Дренирующее влияние основных рек распространяется на значительные глубины, нередко достигающие 1000 м и более.

Наиболее интенсивный вертикальный водообмен, не зависящий от направленности регионального тренда уровней поверхности подземных вод, осуществляется в бортовых частях артезианских бассейнов. Характерным примером является Днепровский артезианский бассейн, где в пределах выделенной ранее по классической схеме "региональной области разгрузки" происходит формирование значительной части ресурсов подземных вод сеноман-нижнемеловых, юрских, триасовых и пермских горизонтов, залегающих в центральной части бассейна на значительных глубинах.

Анализ показал, что роль щита в питании смежных артезианских бассейнов ничтожна. В ряде районов отмечаются перетоки подземных вод со стороны артезианского бассейна в пределы щита. В этой связи следует несколько по-иному оценивать влияние щитов на динамику смежных артезианских бассейнов. Оно определяется не приуроченностью к щитам основных областей питания, а созданием благоприятных условий для значительного увеличения интенсивности вертикального водообмена в осадочных отложениях бортовых частей впадин. Здесь отмечается:

- уменьшение глубин залегания водоносных пластов и общее сокращение мощности осадочных образований;
- постепенное выклинивание глинистых толщ или замещение их песчано-карбонатными породами;
- увеличение трещиноватости скальных и полускальных пород вследствие нарастания к периферии бассейна процессов выветривания и разгрузки массивов пород под влиянием процессов денудации.

Указанные обстоятельства обуславливают: интенсивный вертикальный водообмен в пределах осадочных бортовых частей впадин; создание условий для формирования в указанных районах значительных естественных ресурсов подземных вод этажно залегающих водоносных горизонтов, основная разгрузка которых происходит *in situ*; образование зоны пресных вод, мощность которой значительно превосходит мощность аналогичной зоны в центральной части бассейнов.

В пределах рассмотренных бассейнов основное значение в формировании и расходовании естественных ресурсов системы этажно залегающих водоносных горизонтов имеет вертикальный водообмен. Одним из наиболее важных факторов, определяющих интенсивность вертикального водообмена, являются параметры слабопроницаемых слоев. В результате выполненного анализа с применением метода аналогового моделирования установлена зависимость проницаемости характерных для платформенной части Украины слабопроницаемых пластов мергеля, мела, известняков, глин от глубины залегания, мощности, тектонической нарушенности отложений, орографической расчлененности территории, лито-фациальных особенностей отложений.

Так, например, в Днепровском бассейне средняя проницаемость киевских мергелей (K_0) изменяется от $(3-6) \cdot 10^{-4}$ м/сут в долинах рек до $5 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-6}$ м/сут на водоразделах. Проницаемость мергельно-

меловых пород существенно варьирует в зависимости от глубины залегания и мощности отложений, изменяясь от $1 \cdot 10^{-3}$ м/сут (при глубине залегания 50—100 м и мощности до 50 м) до $1 \cdot 10^{-5}$ м/сут (при глубине залегания более 100 м и мощности 200—400 м).

Весьма специфическим фактором, влияющим на изменение проницаемости отдельных слоев, являются соляные купола, развитые в большом количестве в Днепровском бассейне. Проницаемость мергельно-меловых пород, залегающих над куполами, увеличивается в 5—10 раз по сравнению с фоновыми значениями. На участках полного прорыва отложений куполами проницаемость существенно возрастает в результате образования трещинно-брекчиевой зоны вокруг соляных куполов.

Интенсивность перетекания в естественных условиях в основном определяется модулями естественных ресурсов напорных водоносных горизонтов, формирование которых происходит в пределах междуречных массивов различного порядка, а частичная или полная разгрузка — в долинах рек. В наиболее благоприятных гидрогеологических условиях указанные модули достигают 2—6 л/с·км² при сопротивлениях слабопроницаемых слоев (A_0) от $5 \cdot 10^4$ до $5 \cdot 10^6$ сут.

Приток со стороны внешних границ горизонтов не является определяющим и контролируется ближайшими зонами разгрузки. Так, боковой приток в эоценовом водоносном комплексе Днепровского артезианского бассейна составляет всего 6—7% от общей величины питания. Для сеноман-нижнемелового водоносного горизонта эта величина не превышает 20%.

Анализ работы крупных водозаборов и моделирование прогнозных задач с целью оценки перспективных эксплуатационных ресурсов республики позволяют сделать ряд выводов об особенностях водообмена в условиях интенсивной эксплуатации водоносных горизонтов. В процессе эксплуатации в результате роста вертикальных градиентов между этажно залегающими водоносными горизонтами отмечается повсеместное усиление вертикального водообмена через слабопроницаемые слои. Так, например, в районе Полтавы, где мощность слабопроницаемых мергельно-меловых образований составляет 250—500 м, а их коэффициент фильтрации $5 \cdot 10^{-4}$ — $1 \cdot 10^{-5}$ м/сут, за двадцать лет эксплуатации сеноман-нижнемелового водоносного горизонта удельный вес местного вертикального перетекания в балансе эксплуатационных запасов возрос до 30% и продолжает увеличиваться. Вертикальные скорости фильтрации увеличились до 10^{-5} — 10^{-4} м/сут.

В краевых зонах бассейнов, на расстояниях 10—30 км от границы выклинивания слабопроницаемых слоев, соотношение вертикальных и горизонтальных сопротивлений таково, что местное вертикальное перетекание играет существенно большую роль в формировании эксплуатационных ресурсов, чем боковой приток по пласту со стороны контуров выклинивания (Полтава, Киев, девонские водозаборы Львова и др.).

В результате эксплуатации основных водоносных горизонтов происходит изменение интенсивности водообмена во всей водонапорной системе в зоне влияния водозаборов. Перераспределяются напоры подземных

вод в смежных водоносных горизонтах, изменяются направления движения подземных вод, увеличиваются скорости водообмена. Активизация водообмена приводит к увеличению выщелачивания пород и, следовательно, к росту трещиноватости и закарстованности отложений. Эти процессы, в свою очередь, способствуют улучшению условий латерального и вертикального водообмена. Происходит увеличение питания эксплуатируемой водонапорной системы в целом вследствие снижения и превращения областей разгрузки в дополнительные области питания подземных вод.

В результате отмечается привлечение дополнительных атмосферных осадков, выпадающих в указанной области, частичный или полный перехват поверхностного стока. Выполненные оценки показывают, что в отдельных районах (Украинское Полесье и др.) дополнительное питание атмосферными осадками может достигать 40–50% естественных ресурсов.

Таким образом, интенсивная эксплуатация подземных вод этажно залегающих водоносных горизонтов приводит: к усилению водообмена между горизонтами, увеличению скоростей фильтрации, улучшению условий водообмена, изменению условий на границах и усилению питания водонапорной системы в целом за счет дополнительного питания атмосферными осадками и поверхностными водами.

Региональная эксплуатация подземных вод может привести к неблагоприятным последствиям, среди которых следует выделить: пересушение сельскохозяйственных земель, вывод из строя систем сельскохозяйственного водоснабжения, проседание поверхности территорий, активизацию суффозионных процессов и карстообразования, нежелательное перераспределение речного стока, истощение ресурсов подземных вод.

На основе анализа результатов перспективной оценки эксплуатационных ресурсов основных артезианских бассейнов рассмотрены примеры возможного рационального регионального управления водными ресурсами путем интенсификации отбора подземных вод в пределах наиболее перспективных гидрогеологических структур с последующим magazинированием избыточного поверхностного стока и возвратных вод.

А B S T R A C T

Conditions of water exchange in the upper hydrodynamic stage of the platform artesian basins are considered. The leading role of modern orehydrography in formation of natural resources of subsurface waters in aquifer layers due to vertical percolation through the beds of low permeability is shown.

Utilization of subsurface waters leads to an increase of vertical water exchange in multiplex artesian systems and gives rise to additional draught from external water resources.

Some negative consequences of the intensive regional consumption of subsurface waters and possible ways of rational management of regional water resources are notified.

Г.В. ВОРОПАЕВ, И.С. ЗЕКЦЕР, Б.Е. АНТЫПКО

ВОПРОСЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА

Во многих районах земного шара наличие ресурсов поверхностных и подземных вод часто оказывает определяющее влияние на развитие производительных сил, размещение производств и населения. Поэтому особенно актуальной задачей является разработка научных основ водообеспечения и управления водными ресурсами в ближайшей и отдаленной перспективе и создание долгосрочных прогнозов их рационального использования и охраны. В настоящее время в СССР основным мероприятием по рациональному водообеспечению и использованию водных ресурсов страны рассматривается возможность территориального перераспределения речного стока в крупных масштабах. По Европейской территории Союза объемы ежегодного забора воды из северных рек оцениваются в 20–30 км³/год для ближайшей и в 50–70 км³/год для отдаленной перспективы. Заборы воды из сибирских рек СССР оцениваются в 25–50 км³/год для ближайшей перспективы и в 90–100 км³/год для отдаленной. В связи с этим встает задача — оценить влияние столь грандиозных мероприятий по перераспределению речного стока на природные условия в районах изъятия, транзита и использования перебрасываемых речных вод.

Предполагаемые изменения гидрогеологических условий при перераспределении речного стока неоднозначны. В бассейнах северных и сибирских рек ниже мест отъема стока можно ожидать снижение уровня подземных вод на прилегающих территориях. В районах транзита и подачи стока, наоборот, будет происходить преимущественно подъем уровня подземных вод в результате их подпора в зонах водохранилищ и на участках "антирек", а также за счет увеличения питания подземных вод путем фильтрации из каналов и водохранилищ. В результате изменения характера гидравлической связи подземных и поверхностных вод и фильтрационных потерь можно ожидать подпор подземных вод и, как следствие, затопление, подтопление и заболачивание прилегающих территорий. Отсюда вытекают задачи выделения территорий регионального влияния переброски стока на гидрогеологические условия и разработки прогноза развития в их пределах гидрогеологических явлений и процессов с обоснованием рекомендаций по предотвращению отрицательных последствий. На первой стадии исследований эти задачи могут быть сформулированы более конкретно: разработать прогноз развития подпора подземных вод; оценить фильтрационные потери из водохранилищ, каналов, "антирек" и размеры подтопленных территорий и разработать рекомендации по проведению защитных мероприятий.

Фильтрационные потери по трассам переброски приведут, с одной стороны, к формированию на отдельных участках дополнительных искус-

ственных запасов пресных подземных вод, а с другой — одновременно с явлениями подпора подземных вод и подтопления территорий потери могут вызвать увеличение водопритоков в горные выработки месторождений полезных ископаемых и нежелательные изменения в качестве месторождений минеральных и промышленных вод, распространенных в зонах влияния переработки. Следовательно, второй стадией гидрогеологических исследований является оценка влияния переброски стока на отдельные объекты народнохозяйственного значения — условия формирования и величину эксплуатационных запасов подземных вод существующих крупных водозаборов, разработка месторождений полезных ископаемых, минеральных и промышленных подземных вод.

В результате переброски речного стока изменяются гидрохимические условия прилегающих к трассам территорий. В аридной зоне будут формироваться линзы или полосы опресненных вод вдоль трассы переброски, в результате смешения инфильтрующихся поверхностных и подземных вод вдоль трасс переброски будут происходить процессы изменения химического состава подземных вод, а в отдельных случаях их загрязнение. Подъем уровня грунтовых вод приведет к вымыванию солей из зоны аэрации и усилению испарения с поверхности подземных вод, что может вызвать процессы вторичного засоления земель. Таким образом, третья стадия гидрогеологического обоснования — дать прогноз изменения химического состава и качества подземных вод в пределах южного склона страны до переброски стока и, в частности, оценка возможности форсированного отбора подземных вод и их использование для водоснабжения и орошения в отдельные засушливые годы.

Методические подходы к решению всех перечисленных задач основываются на принципах регионального гидродинамического и типологического районирования с применением математического моделирования и аналитических расчетов на ключевых участках в условиях стационарного и нестационарного режима.

Предварительные результаты прогноза указывают на широкую дифференциацию последствий в зависимости от конкретного сочетания геолого-гидрогеологических и ландшафтно-климатических условий. Так, ниже мест отъема воды из северных и сибирских рек в объемах, предусмотренных на ближайшую перспективу, существенных изменений положения уровня подземных вод не прогнозируется. По трассам переброски ожидается изменение положения уровня подземных вод и проявление связанных с этим последствий (подпор выше критических глубин, подтопление, затопление, заболачивание, засоление почв и др.).

Ширина зон подпора и подтоплений вдоль трасс переброски, их протяженность и площадь зависят от сочетания конкретных геолого-гидрогеологических, физико-географических и гидротехнических условий и оцениваются по специально выделенным гидродинамическим районам. Максимальные значения прогнозируемой ширины зоны подпора достигают по трассам северных рек 8—10 км (в ледниковых отложениях), а по трассам переброски сибирских рек — 50—60 км (в песках) на период стабилизации режима уровня. Фильтрационные потери из водохранилищ,

сооружение которых проектируется по трассам переброски, при установленном режиме фильтрации не превысят первые проценты от годового объема переброски стока.

Прогнозируется увеличение эксплуатационных ресурсов подземных вод за счет фильтрационных потерь, но использование их будет ограничено тесной гидравлической связью с перебрасываемыми водами.

На большинстве месторождений полезных ископаемых, расположенных в зонах существенного влияния переброски стока, будет наблюдаться увеличение водопритоков в горные выработки. Так, при переброске сибирских рек в Кустанайском районе из четырех месторождений каменного угля в трех прогнозируется увеличение водопритоков на 5–6%. Многие месторождения строительных материалов, расположенные вдоль трасс переброски, будут подтоплены. На месторождениях промышленных, термальных и минеральных вод влияние переброски практически не скажется, так как эти воды надежно изолированы региональными водопорами.

Анализ изменения состава и качества подземных вод показал, что наиболее благоприятные изменения ожидаются на отдельных площадях южной половины сибирской трассы. Так, в Тургайском и Приаральском районах прогнозируется засоление грунтовых вод в полосе протяженностью до 150 км и шириной до 20–40 км. На отдельных участках в приканальных зонах и в долине р. Сырдарьи под влиянием инфильтрационных вод будет происходить опреснение грунтовых вод. Предварительный прогноз изменения качества подземных вод в районах переброски стока северных рек европейской части СССР более благоприятный. Существенных отрицательных последствий здесь не ожидается, хотя повышение уровня и сокращение уровня мощности зоны аэрации повлечет за собой ухудшение условий защищенности подземных вод на отдельных участках и приведет к ухудшению их качества.

Оценка масштабов возможного использования подземных вод для орошения земель, приведенная для бассейна Аральского моря, показала ограниченность их ресурсов и исключила это решение в качестве альтернативного для переброски стока сибирских рек.

Определение целесообразности использования подземных вод на орошение должно проводиться комплексно с учетом возможного ущерба речного стока, прогноза изменений гидромелиоративной обстановки и режима почвообразования на орошаемых землях, возможного изменения сложившейся агротехники и других факторов. Весьма важное значение при этом имеет оценка экологических последствий интенсивной эксплуатации подземных вод и технико-экономической оценки их использования для орошения.

Дальнейшие исследования по гидрогеологическому обоснованию территориального перераспределения речного стока, безусловно, будут иметь важное значение для решения проблемы рационального использования водных ресурсов страны.

ABSTRACT

Problems of estimating the impact of interregional river water transfer, planned in the USSR, on the hydrogeological conditions in the areas of withdrawal, transit and use of river water to be transferred are discussed. The main lines of studies are briefly presented: 1) delineation of areas affected by water transfer at a regional scale, prediction of hydrogeological phenomena and processes (primarily ground-water backing, seepage losses from reservoirs, ground-water level rise due to floods) in these areas; 2) estimation of the impact of river water transfer on the conditions of the formation and the amount of the safe yield of existing exploitable reservoirs of fresh, mineral and thermal ground water and the impact on the development of mineral deposits; 3) prediction of variations in the chemical composition and quality of ground water in water-transfer regions; 4) study of the scale of rational ground-water development in arid areas prior to water transfer. Preliminary results of studies along each of these lines are presented.

УДК 556.3.001.5

В.М. ГОЛЬДБЕРГ, Н.П. СКВОРЦОВ

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ГЛИНИСТЫХ ВОДОУПОРОВ

Подземные воды и горные породы представляют единую природную систему, свойства которой в значительной степени определяются взаимодействием жидкости с породой. Одним из наиболее интересных следствий этого взаимодействия является изменение проницаемости глинистых пород и в особенности глин, происходящее под влиянием изменения химического состава подземных вод, их минерализации, температуры и давления. Процесс фильтрации через глины отличается большой сложностью и мало изучен. В этой связи в институте ВСЕГИНГЕО был выполнен большой комплекс экспериментальных работ по изучению влияния минерализации, состава и температуры подземных вод на проницаемость глин.

В настоящих экспериментах использовались глины каолинитового и монтмориллонитового состава. Для изучения влияния состава поглощенных катионов на проницаемость глин были изготовлены образцы монтмориллонитовых глин двух видов: в одном в составе поглощенного комплекса преобладал Ca^{2+} , в другом — Na^+ . В общей сложности было выполнено более 30 экспериментов. Эксперименты проводились на специальной установке, позволяющей воспроизводить условия, близкие к пластовым: воссоздавать необходимое геостатическое давление, поддерживать соответствующую температуру. Через глины фильтровались дистиллированная вода и хлоридные растворы (NaCl и CaCl_2) в диапазоне концентраций от 1 до 150 г/л. Температура в экспериментах изменялась от 20 до 90°C.

Влияние минерализации фильтрующейся жидкости на проницаемость глин. Установлено, что проницаемость одной и той же глины может существенно различаться в зависимости от того, фильтруется через нее пресная вода или хлоридные растворы. По отношению к пресной воде проницаемость глины значительно меньше, чем по отношению к хлоридным растворам. При переходе от пресной воды к хлоридным растворам и с ростом их концентрации проницаемость глин возрастает в несколько раз и даже на порядок и более. На рис. 1 представлены характерные графики зависимости проницаемости от минерализации и состава фильтрующейся жидкости. Наиболее интенсивный рост проницаемости отмечается в начальном интервале минерализацией от 1–3 г/л до 20–30 г/л (около 70–80% прироста проницаемости). В большей степени под влиянием минерализации растворов изменяется проницаемость монтмориллонитовых глин, в меньшей степени — каолинитовых глин. На изменение проницаемости глины существенно влияет состав поглощенных катионов. Об этом свидетельствует более значительный рост проницаемости Na^+ -монтмориллонитовых глин, чем у Ca^{+2} -монтмориллонитовых глин. Так коэффициент проницаемости Na^+ - и Ca^{+2} -монтмориллонита в случае фильтрации раствора CaCl_2 (рис. 1, 7,8) соответственно изменяется в ~ 12 раз и $\sim 2,7$ раза.

Влияние минерализации и состава жидкости на величину начального градиента фильтрации в глинах. При исследовании проницаемости глин в условиях переменных градиентов напора было выявлено, что при уменьшении градиентов в интервале от 70–80 до 30–10 (для разных типов глин этот интервал имеет различные значения: для монтмориллонита — смещается в сторону верхних пределов, для каолинита — в сторону нижних пределов) происходит резкое изменение режима фильтрации. Это изменение заключается в следующем. При значениях градиентов, больших верхнего предела, фильтрация носит практически линейный характер. Внутри указанного интервала градиентов (смещенного в ту или иную сторону в зависимости от типа глины) линейный режим фильтрации сменяется нелинейным и при этом происходит резкое уменьшение расхода фильтрующейся жидкости и коэффициента проницаемости, причем коэффициент проницаемости убывает с уменьшением градиента напора, что характерно для нелинейного режима фильтрации. Наконец, при значениях градиента напора, меньших нижнего предела указанного интервала, расход фильтрации становится весьма незначительным и труднофиксируемым, а коэффициент проницаемости принимает очень низкие значения, намного меньшие, чем при линейной фильтрации. Этот нижний предел интервала градиентов условно может быть назван начальным градиентом фильтрации.

В результате проведенных экспериментов установлено, что с ростом минерализации растворов величина начального градиента уменьшается. Так, в Ca^{+2} -монтмориллонитовой глине при фильтрации растворов CaCl_2 концентрации 0,2Н; 1Н и 2Н величины градиентов составляли соответственно 25, 17 и 10. Значения начального градиента зависят от характера поглощенного катиона: они больше в Na^+ -глинах и меньше в Ca^{+2} -глинах.

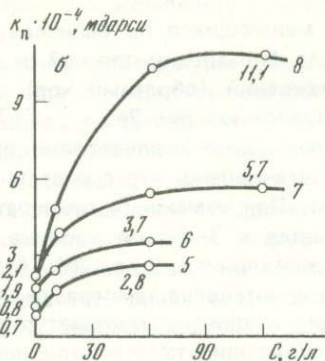
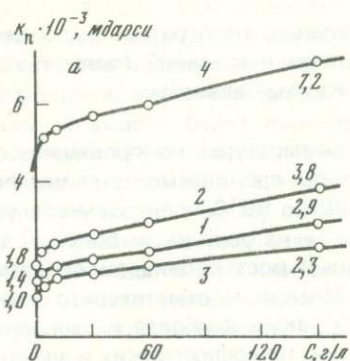


Рис. 1. Зависимость проницаемости каолиновой (а) и монтмориллонитовой (б) глин от концентрации раствора NaCl (1, 2, 5, 6) и CaCl_2 (3, 4, 7, 8)

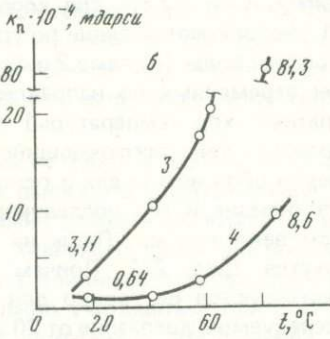
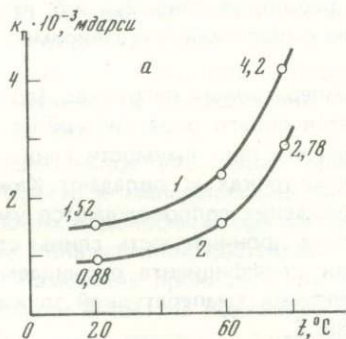
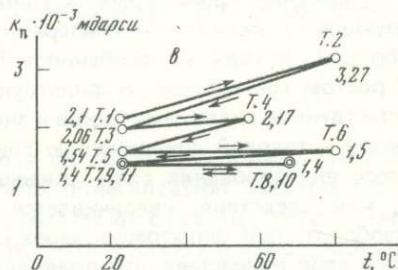


Рис. 2. Зависимость проницаемости каолиновой (а) и монтмориллонитовой (б) глин от температуры при фильтрации пресной воды (2, 4) и растворов NaCl минерализации 50 г/л (1, 3), а — гистерезис проницаемости глины от температуры (номера точек соответствуют последовательности их получения)



Влияние температуры на проницаемость глин. При постановке этих работ из каждого монолита горной породы изготавливались по 2 образца, через один из которых фильтровалась пресная вода, а через другой — хлоридный раствор заданной минерализации. Таким образом предоставлялась возможность исследовать совместное влияние на проницаемость глин температуры и минерализации. Типичные графики зависимости $k_n = f(t)$ для пресной воды и раствора NaCl представлены на рис. 2 (а, б). По раствору CaCl_2 графики имеют аналогичный характер. Кроме того, были проведены исследования проницаемости глины (каолин) в усло-

виях, меняющихся по величине и направлению температур: выполнены 4 цикла фильтрации пресной воды в условиях нагреваний (прямой ход) и охлаждений (обратный ход) образца. Кривые зависимости $\kappa_n = f(t)$ представлены на рис. 2в.

В результате исследований влияния температуры на проницаемость глин установлено, что с ростом температуры проницаемость глины возрастает. При изменении температуры от 20 до 90°С проницаемость увеличивается в 3–5 раза каолина (рис. 2а) и на порядок и более — для монтмориллонита (рис. 2б). Максимальный рост проницаемости отмечается в интервале температур 60–90°С. Интересно отметить, что к указанному интервалу температур приурочен также наиболее интенсивный рост коэффициента молекулярной диффузии, теплофизических и электрических параметров глинистых пород. Совместное влияние температуры и минерализации фильтрующейся жидкости в большей степени увеличивает проницаемость глины, чем влияние только одной температуры: графики зависимости $\kappa_n = f(t)$ для хлоридных растворов (рис. 2, а и б, кривые 1 и 3) располагаются выше по сравнению с аналогичными зависимостями для пресной воды (кривые 2 и 4).

При переменных по направлению температурных нагрузках (прямой и обратный ход температуры) отмечается своего рода гистерезис проницаемости глин, заключающийся в том, что проницаемости глины при прямом и обратном ходах в одних и тех же точках не совпадают. Каждый нагрев образца и его последующее охлаждение сопровождаются уменьшением величины κ_n . Лишь на 4-м цикле проницаемость глины стабилизируется (рис. 2в). Причем значения коэффициента проницаемости стабилизируются не только для определенной температурной точки, но и в исследуемом диапазоне от 20 до 60–80°С.

Изменение проницаемости глин под влиянием минерализации фильтрующейся жидкости и температуры может быть объяснено следующим образом, исходя из особенностей состояния поровой воды в глинах. С ростом минерализации фильтрующейся жидкости в глинах нарушается естественное гидрохимическое и энергетическое равновесие между водной фазой и твердой поверхностью глинистых минералов, возникшее в процессе формирования глин, уменьшается толщина слоя связанной воды и, как следствие, увеличивается пористость и проницаемость глины. Наоборот, при фильтрации через глины пресной воды толщина диффузного слоя возрастает, что приводит к уменьшению эффективной пористости, а следовательно, и проницаемости. В зависимости от состава жидкости может изменяться и качественный состав поглощенного комплекса. В случае фильтрации растворов, содержащих одинаковые с поглощенным комплексом катионы, катионный обмен практически отсутствует и его качественный состав не изменяется, уменьшается лишь толщина гидратно-ионного слоя. Это уменьшение обусловлено различием концентраций фильтрующейся жидкости и исходного порового раствора. При фильтрации растворов, содержащих катионы иного состава по сравнению с катионами исходного поглощенного комплекса, динамика процесса взаимодействия жидкости с породой носит более сложный характер. С одной стороны, изменение проницаемости будет определяться видом

нового катиона, поступающего в поглощенный комплекс, с другой — концентрацией фильтрующегося раствора.

Рост проницаемости глин с увеличением температуры обусловлен разрушением связанной воды. По мере роста температуры все больший объем жидкости будет переходить в свободное состояние, увеличивая тем самым эффективную пористость породы. Более значительный эффект влияния температуры на изменение проницаемости, отмеченный в монтмориллонитовых глинах, объясняется их повышенными гидратирующими свойствами, в результате чего относительный объем разрушаемой связанной воды в этих глинах будет значительно выше, чем в каолиновых. Соответственно в монтмориллонитовых глинах выше диапазон изменения проницаемости под влиянием температуры, чем в каолинитах.

Таким образом, результаты экспериментов позволяют заключить, что с ростом минерализации и температуры происходит значительное увеличение проницаемости глинистых пород по сравнению с проницаемостью по пресной воде и при нормальной температуре. Это обстоятельство свидетельствует о том, что на формирование фильтрационных свойств глинистых пород существенное влияние оказывают естественные и искусственно созданные температурные и геохимические поля.

Значительное увеличение проницаемости глин в условиях высоких температур и минерализаций позволяет высказать предположение, что в глубоких водоносных горизонтах возможно ожидать значительное увеличение конвективной составляющей вертикального движения подземных вод. Изменение проницаемости глин под влиянием температуры, минерализации и состава подземных вод должно учитываться при оценке их водоупорных свойств и возможных их изменениях при решении задач, связанных с охраной подземных вод от загрязнения и закачкой стоков в глубокие водоносные горизонты.

А B S T R A C T

It has been found that the permeability of clays significantly increases with increasing water temperature and mineralization (several times and by an order). The impermeable properties of clays may be different for fresh water and chloride solutions. With decreasing head gradients an abrupt change in the filtration regime through clays and an abrupt decrease in their permeability take place, which is accounted for anomalous properties for a bound water in clay rocks and specified by this process of the initial gradient of filtration. A degree of variability in the filtration properties of clays including the initial gradient of filtration are dependent upon the mineralogical composition of a rock, the nature of infiltration liquid and the composition of an absorbed complex. The hysteresis phenomena of permeability have been ascertained under conditions of varying temperatures.

Б.Ф. МАВРИЦКИЙ, А.А. ШПАК

КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРИНЦИПЫ ИЗУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ ГЛУБИННОГО ТЕПЛА ЗЕМЛИ

Геотермальные ресурсы связаны как с подземными термальными водами (гидрогеотермальные ресурсы), так и с нагретыми практически безводными горными породами (петрогеотермальные ресурсы). В предлагаемой классификационной схеме для указанных двух главных типов ресурсов выделяются классы (по температуре) и виды (по условиям распространения и характеру залегания) ресурсов, а также дается их геолого-гидрогеотермическая характеристика, включающая данные о глубинах залегания, районах распространения и других показателях (табл. 1).

Поскольку в настоящее время еще не существует разработанной промышленной технологии извлечения тепла, аккумулированного горными непроницаемыми ("сухими") породами, практическое значение будут иметь гидрогеотермальные ресурсы. Тем не менее, учитывая масштабы петрогеотермальных ресурсов, необходимо создание опытно-промышленных искусственных циркуляционных систем и разработка на их базе технологии извлечения тепла горных пород.

Для освоения гидрогеотермальных ресурсов, динамичным носителем которых являются подземные термальные воды, имеется достаточно подготовленная технология промышленного освоения и разработки месторождений. Однако требуется серьезное научное обоснование рациональных методов интенсификации добычи этих ресурсов, направленных на повышение коэффициента (степени) их извлечения из недр и решение ряда экологических проблем.

Важнейшим этапом в изучении гидрогеотермальных ресурсов является установление закономерностей формирования и распространения естественных теплоносителей, что должно служить основой специального гидрогеотермического районирования, которое позволит выделить перспективные для дальнейшего изучения и промышленного освоения территории. Районирование выполняется по комплексу гидрогеологических и геотермических параметров и показателей, определяющих размеры эксплуатационных ресурсов, качество естественных теплоносителей (тепловой потенциал, химический состав и минерализация, коррозионные свойства вод и способность к солеотложениям) и условия разработки продуктивных горизонтов (тип коллектора, фильтрационные и емкостные его характеристики, величины пластовых и избыточных устьевых давлений и т.п.). При этом районирование должно базироваться на геолого-структурной основе и генетическом подходе к прогнозированию изменения указанных параметров и показателей в пределах изучаемого региона. Исходя из изложенных принципов, выполнено гидрогеотермическое районирование территории СССР [1,2].

Итогом комплексного изучения гидрогеотермических условий перспективных на термальные воды территорий должна явиться оценка

Таблица 1

Классификационная схема геотермальных ресурсов

Тип ресурсов	Класс ресурсов по температуре, °С	Вид ресурсов по условиям распространения и характеру залегания	Характеристика теплоносителя	Примерные глубины залегания продуктивных зон, м	Районы распространения
1	2	3	4	5	6
Гидрогеотермальные	Свыше 100	Локальные, трещинно-жильные Региональные, пластовые	Пары и пароводяные смеси Пароводяные смеси	500—1500 Свыше 3000—3500	Районы современного вулканизма Артезианские бассейны эпипалеозойских плит, предгорных и краевых прогибов, межгорных впадин, выполненные мезокайнозойскими отложениями
	До 100	Локальные, трещинно-жильные Региональные, пластовые	Термальные воды Термальные воды	200—500 1500—3000	Древние складчатые системы, испытавшие воздействие неотектонической активизации, системы альпийской складчатости Артезианские бассейны эпипалеозойских плит, предгорных и краевых прогибов, межгорных впадин, выполненные мезокайнозойскими отложениями
Петрогеотермальные	Свыше 100	Локальные термоаномалии (близ магматических очагов и на участках поствулканических процессов)	Тепло горных пород снимается путем закачки в циркуляционную систему воды из поверхностных или других источников с использованием выходящих паров, пароводяных смесей	2000—5000	Районы современного вулканизма

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6
		Региональные	То же	3000—5000	Складчатые системы альпийской зоны, фундаменты эпипалеозойских плит
До 100	Локальные термоаномалии		То же, с использованием выходящих термальных вод	до 2000—3000	Складчатые системы неотектонической активизации
		Региональные	"	2000—3000	Складчатые системы от мезозойской до байкальской складчатости, не испытывавшие влияния неотектонических движений, и фундаменты молодых платформ

целесообразных масштабов их практического теплоэнергетического использования. Эти масштабы определяются в первую очередь размерами эксплуатационных ресурсов естественных теплоносителей и их теплоэнергетическим потенциалом. При этом под эксплуатационными ресурсами термальных вод понимается их количество, которое может быть получено из оцениваемых водоносных комплексов (горизонтов) при качестве воды, ее температуре и технико-экономических показателях добычи, обеспечивающих их эффективное теплоэнергетическое использование в течение всего расчетного срока потребления. Из приведенного определения следует, что размеры эксплуатационных ресурсов термальных вод определяются не только геолого-структурными, гидрогеологическими и геотермическими условиями региона, но и целым рядом технических и технологических условий разработки водоносных горизонтов, эксплуатации геотермальных скважин и практического использования естественных теплоносителей. При региональной оценке должны также рассматриваться экологические проблемы разработки месторождений, использования и сброса термальных вод, а также вопросы рационального использования недр. В этом аспекте принципиальное значение имеет рассмотрение проблем, связанных с обратной закачкой отработанных термальных вод в продуктивные горизонты, что позволяет одновременно решать вопросы защиты окружающей среды, интенсификации процесса разработки месторождений благодаря поддержанию пластовых давлений и повышению коэффициентов извлечения ресурсов глубинного тепла Земли, так как в этом случае может быть извлечено практически все тепло, аккумулированное подземными водами, а также часть тепла,

аккумуляированного скелетом породы, т.е. часть петрогеотермальных ресурсов.

При разработке принципов региональной оценки должны учитываться также специфические особенности месторождений термальных вод и самих вод как теплоносителей. В комплексе эти особенности определяют: достаточно высокий уровень капитальных затрат на поисково-разведочные работы и промышленное освоение месторождений; относительно небольшие эксплуатационные запасы отдельных месторождений (или их эксплуатационных участков)* и тем самым экономическую нецелесообразность создания в их пределах крупных водозаборов; относительно невысокий теплоэнергетический потенциал термальных вод*; невозможность дальнего транспорта теплоносителя, а также зависимость режима разработки водоносных горизонтов от режима потребления термальных вод и тепла.

Перечисленные особенности показывают, что оценка ресурсов может быть успешно выполнена лишь на основе геолого-экономического принципа [3]. Этот принцип, базирующийся на наиболее полном учете гидрогеотермических условий и закономерностей региона, предполагает определение возможной величины отбора термальных вод и оценку их теплоэнергетического потенциала в пределах перспективных районов на основе комплексного решения традиционных и специфических гидрогеологических, теплофизических, гидравлических и технико-экономических задач (включая рассмотрение вопросов защиты окружающей среды при разработке месторождений, использовании и сбросе термальных вод), направленных на получение максимального экономического и народнохозяйственного эффекта от использования данного вида ресурсов при минимально необходимых общественных затратах.

В изложенной формулировке задачи региональной оценки эксплуатационных ресурсов термальных вод относятся к классу оптимизационных. Их решение сопряжено с исследованием большого числа факторов и оптимизацией широкого круга параметров, как правило, по группе месторождений, эксплуатационных и перспективных участков. Все это обуславливает необходимость применения современных методов аналогового и экономико-математического моделирования, анализа и оптимизации производства и природопользования. Естественно, что при региональной оценке ресурсов оптимизация должна осуществляться на базе укрупненных и приближенных гидрогеотермических и технико-экономических показателей, как правило, на основе вариантных расчетов, реализуемых на ЭЦВМ. В качестве критерия оптимальности в соответствии с современными принципами оценки эффективности капитальных вложений и оптимизации природопользования нами принят приближенный показатель экономического выигрыша в сфере эксплуатации данного природного ресурса Π , который определяется исходя из экономических оценок получаемой продукции

$$\Pi = (\mathcal{E}_{\text{зам}} - \mathcal{E}_{\text{пр}}) G,$$

где $\mathcal{E}_{\text{зам}}$ — замыкающие затраты, отражающие уровень предельно допусти-

* За исключением месторождений парогидротерм в районах современного и молодого вулканизма.

мых с народнохозяйственной точки зрения приведенных затрат на промышленное освоение ресурсов термальных вод в оцениваемом районе на определенном отрезке времени и рассматриваемые в качестве экономической оценки ресурсов, руб/Гкал, руб/Т.У.Т.; $\mathcal{E}_{\text{пр}}$ — прямые приведенные затраты на промышленное освоение ресурсов, руб/Гкал, руб/Т.У.Т.; G — годовой объем продукции, полученной на базе ресурсов термальных вод, Гкал/год, Т.У.Т./год.

При региональной оценке эксплуатационные ресурсы термальных вод должны определяться применительно к фонтанному и насосному способам эксплуатации геотермальных скважин и при разработке водоносных комплексов (горизонтов) без поддержания и с поддержанием пластовых давлений путем закачки в пласт "отработанных" термальных вод по двум вариантам:

— оптимальному, предусматривающему получение максимального экономического выигрыша

$$0 < \Pi = \max \text{ или } \mathcal{E}_{\text{зам}} > \mathcal{E}_{\text{пр}} = \min;$$

— предельному, обеспечивающему получение лишь нормативной прибыли и нулевого экономического выигрыша по сравнению с альтернативным вариантом

$$\Pi = 0; \mathcal{E}_{\text{зам}} = \mathcal{E}_{\text{пр}}.$$

По каждому из указанных вариантов расчета, способов эксплуатации скважин и методов разработки водоносных комплексов (горизонтов) вычисляются модульные и абсолютные характеристики ресурсов по воде и теплу, а также производится классификация ресурсов по качественным показателям (теплоэнергетическому потенциалу, минерализации и химическому составу).

На основе изложенных принципов разработана методика региональной оценки эксплуатационных ресурсов термальных вод с использованием ЭЦВМ, отработаны принципы составления карт эксплуатационных ресурсов термальных вод и геолого-экономического районирования перспективных территорий.

Применение изложенных принципов в целом позволяет обоснованно подходить к определению экономически целесообразных масштабов практического использования ресурсов термальных вод, очередности их изучения и промышленного освоения, а также наметить наиболее важные задачи в области совершенствования техники и технологии разведки и разработки гидрогеотермальных месторождений.

В результате гидрогеотермического изучения перспективных территорий и региональной оценки ресурсов термальных вод и парогидротерм должен составляться кадастр месторождений, эксплуатационных и перспективных участков, классифицированный по гидрогеотермическим и геолого-экономическим показателям. Кадастр должен составляться по унифицированной форме, что позволяет хранить информацию в памяти ЭЦВМ. Такая форма обобщения и хранения гидрогеотермической информации представляется на сегодняшний день наиболее удобной при решении целого ряда научно-методических и практических задач изучения и использования ресурсов глубинного тепла Земли.

ABSTRACT

Le schéma de classification des ressources géothermales et les principes de division en régions géothermiques des territoires perspectifs quant aux eaux thermales sont exposés. Les particularités et les problèmes de l'évaluation régionale des ressources exploitables en eaux thermales sont considérés. Le principe géologo-économique de solution de ces problèmes, relatifs à la classe de ceux optimaux, est argumenté et formulé. Celui-ci permet d'évaluer les ressources et de désigner la séquence des travaux de recherche et de prospection à partir des intérêts d'obtenir un effet économique maximum de la mise en oeuvre des ressources pour les buts thermo-énergiques aux dépenses publiques nécessaires minimales. Il est mis en relief la nécessité de la généralisation des données sur les ressources en eaux thermales sous la forme d'inventaire des gisements et des régions perspectives établi d'après le schéma unifié à destination de conserver l'information dans la mémoire d'ordinateur.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маврицкий Б.Ф. Термальные воды складчатых и платформенных областей СССР. М.: Недра, 1971.
2. Маврицкий Б.Ф., Антоненко Г.К., Отман Е.С., Полуботко Л.Ф. Ресурсы термальных вод СССР. М.: Недра, 1975.
3. Шпак А.А. Геолого-промышленная оценка месторождений подземных термальных вод. — Советская геология, 1975, № 6.

УДК 556.3.001.5

В.И. ЛЯЛЬКО, М.М. МИТНИК, Л.Д. ВУЛЬФСОН

ДИСТАНЦИОННОЕ ГИДРОГЕОТЕРМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И ПОИСКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Дистанционные геотермические методы исследования геологических объектов основаны на изучении теплового излучения поверхности Земли.

Так как в гидрогеологических системах, нефтегазовых залежах и сульфидных рудах протекают процессы, влияющие на температуру земной поверхности, то эти процессы можно исследовать с помощью теплового дистанционного зондирования с целью поисков соответствующих полезных ископаемых. Для этого применяется специальная аппаратура, регистрирующая инфракрасное излучение поверхности Земли.

В гидрогеологических системах причиной поверхностной тепловой и температурной аномалий является процесс конвективного теплопереноса и высокая тепловая инерция обводненных пород. При движении подземных вод по наклонным и вертикальным пластам, при разгрузке воды на поверхность, при фильтрации воды с поверхности в результате конвективного теплопереноса формируются специфические члены теплового баланса, что ведет к образованию тепловых аномалий на поверхности. Разрабо-

танная в Институте геологических наук АН Украинской ССР методика позволяет интерпретировать поверхностные тепловые аномалии с целью изучения гидрогеологических условий и поисков полезных ископаемых.

Для разработки количественных методов дистанционных поисков полезных ископаемых необходимо сформулировать задачу теплопереноса в земной коре с учетом теплового баланса на верхней границе, т.е. представить тепловую модель верхних пластов земной коры.

Рассмотрим двухмерную область, верхняя граница которой совпадает с поверхностью Земли. Процесс теплопереноса для нее можно записать в виде

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right] - c_o \rho_o v_x \frac{\partial T}{\partial x} - c_o \rho_o v_z \frac{\partial T}{\partial z} + q(x, z, t) = c \rho \frac{\partial T}{\partial t},$$

где T — температура; t — время; q — тепловые источники; x — горизонтальная, z — вертикальная координата; λ , c , ρ — коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность горных пород; c_o , ρ_o , V_x и V_z — теплоемкость, плотность и проекции скорости фильтрации на координатные оси движущегося флюида.

В упомянутой области выделим зону, включающую месторождение полезного ископаемого, в котором протекают экзотермические процессы окисления (нефть, газ, сульфидные руды), что формирует аномальное распределение температуры над залежью, включая земную поверхность.

Если исходить из допущения, что вне этой зоны месторождение не влияет на распределение тепловых потоков и температур, то граничное условие, определяющее пределы этого влияния по горизонтальной координате, можно записать

$$x = \pm a; \quad x = -a; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0.$$

Условие на нижней границе отражает распределение глубинного теплового потока над месторождением

$$z = b; \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = q(x).$$

На верхней границе области граничное условие определяется тепловым балансом поверхности. Это граничное условие можно записать [6]

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = N(t) [T_3 - T],$$

где

$$N = \sum_{j=1}^n n_j, \quad T_3 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n F_j,$$

т.к. каждый из членов теплового баланса может быть записан в виде

$$q_j(t) = n_j T - F_j(t).$$

Изучение теплового и температурного поля над нефтегазовыми залежами показали, что здесь положительная температурная аномалия прослеживается от залежи до самой поверхности.

Особенности процесса теплопереноса в земной коре, обусловленные наличием залежей полезных ископаемых, отражаются на температурном поле поверхности, а следовательно, и на тепловом излучении Земли, которое может быть зарегистрировано с помощью специальной аппаратуры, установленной на самолетах или ИСЗ. Полевыми исследованиями, выполненными в ИГН АН УССР на специальных полигонах, расположенных в Днепро-Донецкой впадине, установлено наличие положительных температурных аномалий на поверхности Земли над нефтегазовыми залежами. Расположение этих аномалий совпадает с аномалиями температуры, зафиксированными над этими залежами в приповерхностных слоях грунта на глубинах от 1 до 8 м. Величина температурных аномалий на поверхности Земли над нефтегазовыми месторождениями составляет несколько десятых градуса, достигая в некоторых случаях значения $1,5^{\circ}\text{C}$. При этом положение температурной аномалии относительно залежи углеводородов может быть существенно смещено в сторону (порядка сотен метров) вследствие фильтрации подземных вод.

Для оценки влияния движения подземных вод в горизонтальном водоносном пласте на температурную аномалию рассмотрена задача теплопереноса в водоносном пласте. Принято, что распределение теплового потока, поступающего через подошву водоносного пласта от залежи полезного ископаемого может быть описано синусоидальным законом. Это позволило найти распределение температуры над водоносным горизонтом и величину смещения максимума температурной аномалии в зависимости от скорости движения в пласте [4]:

$$\Delta T = q_0 \frac{k_1 [e^{ux} - \cos \pi \frac{x}{l}] + (k_2 + k_3) \sin \pi \frac{x}{l}}{k_1^2 + (k_2 + k_3)^2}$$

где

$$u = \frac{\rho_0 c_0 v}{2\lambda} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda\lambda_1}{\Delta z m (\rho_0 c_0 v)^2}} \right], \quad K_1 = \frac{m\rho_0 c_0 v \pi}{l};$$

$$K_2 = \frac{m\lambda\pi^2}{l}; \quad K_3 = \frac{\lambda_1}{\Delta z};$$

$m, \Delta z$ — мощность и глубина водоносного горизонта; q_0 — максимальное значение тепловой аномалии на подошве пласта, не искаженной движением воды; l — протяженность тепловой аномалии по водоносному пласту, не искаженной движением воды.

Смещение температурной аномалии определяется выражением

$$\Delta x = l \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{K_2 + K_3}{K_1} \right).$$

Проведенные расчеты показали, что движение подземных вод со скоростью фильтрации 10 м/год по водоносному горизонту мощностью 10 м,

расположенному на глубине 100 м, уменьшает максимальное значение температурной аномалии на кровле водоносного горизонта на 10–15% и смещает температурный максимум на расстояние около 1000 м по сравнению со случаем нулевой фильтрации. С возрастанием глубин залегания водоносного горизонта увеличивается снос поисковой геотермической аномалии в направлении движения воды. Таким образом, при интерпретации результатов наземных и дистанционных геотермических измерений с целью поисков полезных ископаемых должно учитываться движение подземных вод. Оптимальным временем для измерения температуры земной поверхности являются предрассветные часы. Температурные аномалии на поверхности Земли над нефтегазовыми месторождениями и хорошая корреляция с ними аномалий, измеренных на небольших глубинах, дают основание рассматривать это явление как поисковый признак на нефть и газ, а также использовать дистанционное зондирование поверхности Земли для поисков нефтяных и газовых залежей [3].

Разработанная в ЦГН АН УССР методика позволяет интерпретировать поверхностный температурный режим с целью изучения гидрогеологических условий — в частности, обнаружения участков и оценки интенсивности питания — разгрузки подземных вод.

Как известно, температура поверхности Земли определяется ее энергетическим балансом, который можно записать в следующем виде [1]:

$$(1 - V) q_{pk}(r) = q_{pq}(\tau) + q_k(\tau) + q_u(\tau) + q_n(\tau),$$

где q_{pk} — поток суммарной коротковолновой радиации; q_{pq} — эффективное длинноволновое излучение; q_k — конвективный поток тепла в воздух; q_u — поток тепла, расходуемый на испарение; q_n — поток тепла в грунт.

Поток тепла в грунт q_n может быть записан в виде

$$q_n = -\lambda \frac{\partial T(z, t)}{\partial z} + VC_0\rho_0 T_n,$$

где $T(z, t)$ — функция распределения температуры в грунте, V — скорость фильтрации; $C_0\rho_0$ — объемная теплоемкость воды; λ — теплопроводность грунта.

При гармонически изменяющейся температуре земной поверхности, постоянной скорости, вертикальной фильтрации и независимости теплофизических характеристик от температуры и пространственных координат $T(z, t)$ равна [5]

$$T(z, t) = T_z + \sum_{i=1}^2 \Delta t_i e^{-z\delta_i} \cos(\omega_i t - z\eta_i + \varphi_i),$$

где

$$\delta_i = \frac{VC_0\rho_0}{2\lambda} + \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{V^4 C_0^4 \rho_0^4}{16\lambda^4} + \frac{\omega_i^2}{a^2}} + \frac{V^2 C_0^2 \rho_0^2}{4\lambda^2} \right)},$$

$$\eta_i = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{V^4 C_0^4 \rho_0^4}{16\lambda^4} + \frac{\omega_i^2}{a^2}} - \frac{V^2 C_0^2 \rho_0^2}{4\lambda^2} \right)}.$$

$\omega_j = \frac{2\pi}{T_j}$ — угловая частота колебаний температуры; $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ — температуропроводность грунта; Δt_j — амплитуда колебаний температуры на поверхности Земли; φ_j — фаза колебаний; t_z — среднегодовая температура грунта на глубине z ; $i = 1, 2$ — обозначает суточные и годовые колебания соответственно.

Температурный режим участка поверхности, являющейся областью питания (разгрузки) подземной гидросистемы, удобно анализировать, сравнивая его с режимом эталонного участка с известными составляющими энергетического баланса; скоростью вертикальной фильтрации и теплофизическими характеристиками.

Предположим, что величины q_{pk} для эталонного и исследуемого участков равны. Исходя из этого, с помощью уравнения энергетического баланса нами получены выражения для отношения амплитуд и разности фаз температурных колебаний на аномальном и фоновом участках как функции скорости и направления вертикальной фильтрации воды. Таким образом, можно, производя несколько синхронных измерений температуры земной поверхности в течение суток на фоновом и аномальном участках, определить интенсивность питания — разгрузки подземных вод [2].

Дистанционные поиски участков, перспективных для подземного теплоотбора, т.е. содержащих термальные воды, могут осуществляться путем проведения синхронно разновысотных тепловых съемок земной поверхности (в ИК- и "радиотепловом" диапазонах) параллельно с наземными измерениями температур и тепловых потоков земной поверхности и горных пород в приповерхностных слоях на опытных полигонах.

Съемку целесообразно выполнять в предутренние часы (когда минимально влияние солнечного прогрева земной поверхности) в весенне-осенний сезон (когда минимально влияние растительности на температуру земной поверхности). Первичную мелкомасштабную дистанционную ИК-съемку параллельно со съемкой в видимом диапазоне (например с ИСЗ) можно осуществить в зимний период, когда участки с повышенным тепловым потоком и высачиванием термальных вод характеризуются таянием снежного покрова.

При дешифрировании полученных термограмм по специальной методике исключается влияние поверхностных факторов на полезный геотермический сигнал (типы растительности, формы рельефа, виды пород и степень их увлажненности и т.п.).

Критериями перспективности глубинного теплоотбора по дешифрированным термограммам являются: повышенный тепловой поток, наличие температурных аномалий, коррелирующихся с зонами разломов (т.е. свидетельствующих о зонах повышенной водопроницаемости) или указывающих на площадную разгрузку термальных вод; анализ асимметрии этих аномалий, как показатель направления и скорости перетоков подземных вод. Ответ на эти вопросы можно получить по результатам одноразовой дистанционной тепловой съемки.

АБСТРАКТ

The remote studies in the thremal state of the surface layers of the Earth permits to increase in the efficiency of geophysical prospecting underground waters, gas, oil and sulphide deposits, because these geological objects are generating and transforming temperatures and heat flow on the surface of the Earth.

Authors give a few of hydrogeothermic methods for remote search for minerals, using IR—mapping and interpreting matirials by means calculating of heat—mass transfer theory. It's give a possibility to calculate flowing geothermal anomalies by the underground waters moving and estimate seepage—drainage of these waters for different regions of the Ukrainian SSR.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте. Л.: Гидрометеоиздат, 1973.
2. Лялько В.И., Митник М.М., Вульфсон Л.Д. О дистанционном геотермическом методе обнаружения и оценки интенсивности участков питания и разгрузки подземных вод. — В кн.: Научно-техническое совещание по геотермическим методам исследований в гидрогеологии. М.: Недра, 1975.
3. Лялько В.И., Митник М.М., Вульфсон Л.Д. Исследование особенностей температурного поля поверхности Земли на нефтегазовых площадях Днепровско-Донецкой впадины с целью выявления критериев дистанционных поисков нефти и газа. — Докл. АН УССР. Сер. Б, 1977, № 7.
5. Митник М.М. Влияние движения подземных вод на геотермические аномалии нефтяных месторождений. — Докл. АН УССР. Сер. Б, 1978.
5. Огильви Н.А. Вопросы теории геотемпературных полей в приложении к геотермическим методам разведки подземных вод. — В кн.: Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1959, ч. 1.
6. Чудновский А.Ф. Теплофизика почвы. М.: Наука, 1976.

УДК 556.3.001.57

А.А. РОШАЛЬ, В.Б. ЧУЛАЕВСКИЙ

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ПО ДАННЫМ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

При хозяйственном освоении территорий наблюдается существенное изменение гидрогеологических условий, имеющее зачастую неблагоприятные последствия (подтопление, заболачивание, переосушение земель, истощение и загрязнение подземных вод и т.п.). Для прогноза этих изменений и обоснования необходимых инженерных мероприятий требуется оценка скоростей фильтрации в натуральных условиях. Существующие в настоящее время методы определения скорости фильтрации трудоемки, недостаточно оперативны и не всегда удовлетворяют по точности.

Вместе с тем вследствие изменения режима и баланса подземных вод происходит заметное нарушение естественной геотемпературной обстановки. Масштабы и интенсивность температурных изменений определяются гидродинамическими условиями, поэтому геотемпературные данные несут необходимую информацию о величине и направлении скорости фильтрации.

Для определения скорости фильтрации по данным геотемпературного режима необходимо в каждом конкретном случае обоснование расчетных схем теплопереноса в горных породах.

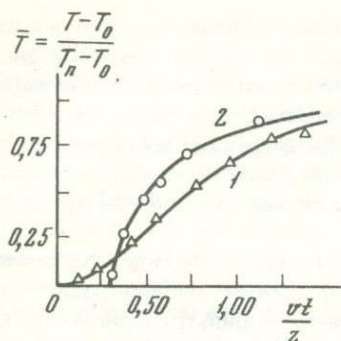
Из многочисленных задач, встречающихся в практике гидрогеологических исследований, остановимся на задачах оценки инфильтрационного питания подземных вод на массивах орошения и фильтрационных потерь из обводнительно-оросительной сети. Ранние стадии теплопереноса в этих случаях характеризуются резкой нестационарностью.

При изучении нестационарного теплопереноса в горных породах важное значение имеет учет теплообмена между водой и скелетом, поэтому в общем случае следует рассматривать теплоперенос как гетерогенный процесс. Вместе с тем, как показывают теоретические и экспериментальные исследования [2, 4], скорости межфазного теплообмена в однородных горных породах при реальных скоростях фильтрации достаточно велики в сравнении со скоростями конвективного переноса. Этот факт позволяет использовать расчетные зависимости, не учитывающие конечности скорости теплообмена введением эффективной для тепла пористости (n_e) вместо активной пористости (n). Эффективная пористость учитывает не только тепловую емкость воды, насыщающей пористое пространство, но и тепловую емкость скелета. Для несцементированных пород величина n_e изменяется в весьма узких пределах (0,65—0,80).

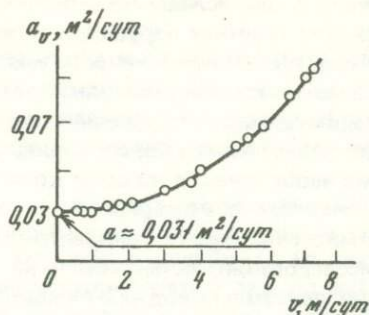
Обычно теплоперенос в однородных породах описывается уравнением теплопроводности с конвективным членом [1, 2, 6]. Величина эффективного коэффициента микродисперсии a_v при этом в общем случае зависит от теплопроводности породы и скорости фильтрации. Авторами [1] предлагается линейная или квадратичная зависимость его от скорости фильтрации.

Для уточнения этой зависимости в диапазоне скоростей, встречающихся при решении гидрогеологических задач, были поставлены экспериментальные исследования в лабораторных и полевых условиях. Лабораторные опыты проводились в фильтрационных колоннах с мелкозернистым песком полиминерального состава (коэффициент неоднородности $K_H = 2,2$; пористость $n = 0,47$). По результатам обработки опытных данных была установлена зависимость коэффициента тепловой микродисперсии a_v от скорости фильтрации (рис. 1). При скорости менее 1 м/сут коэффициент a_v остается практически постоянным и равным коэффициенту теплопроводности a данного песка. Нелинейная зависимость коэффициента микродисперсии от скорости фильтрации при $V > 1$ м/сут связана с кинетикой межфазного теплообмена. Роль этого фактора возрастает по мере увеличения скорости фильтрации и размера частиц породы.

Таким образом, при изучении теплопереноса в однородных песчаных и супесчаных породах в тех случаях, когда $V < 1$ м/сут, можно считать a_v постоянным.



Р и с. 1. Зависимость коэффициента тепловой микродисперсии a_v [$a_v = a + 0,0014 V^{1,94}$ (при $V > 1$ м/сут)] от скорости фильтрации V в мелкозернистом песке



Р и с. 2. Изменение относительной температуры \bar{T} от безразмерного времени Vt/z
 1 — при наливе в супесь ($V = 1$ м/сут, $z = 0,2$ м); 2 — при наливе в трещиноватый тяжелый суглинок ($V = 2,2$ м/сут, $z = 1,0$ м)

Однако более существенным оказывается влияние фильтрационной неоднородности пород. Например, в процессе инфильтрации в поверхностных отложениях большую роль играют пути усиленной инфильтрации (макропоры, трещины, ходы землероев и т.п.). В таких условиях для учета влияния макроструктурного строения пород на теплоперенос может быть использована гетерогенно-блоковая модель строения с двойной пористостью [5, 7]. В этой модели предполагается, что порода состоит из системы слабопроницаемых пористых блоков, разделенных равномерно распределенными проницаемыми зонами. Фильтрация в этом случае происходит главным образом по проницаемым зонам, а блоки являются основными емкостями для тепла (в блоках фильтрация либо отсутствует, либо крайне затруднена).

В тех случаях, когда теплообмен между зонами происходит достаточно интенсивно, захватывая весь их объем, теплоперенос может описываться в рамках дисперсионной схемы. В отличие от однородных пород коэффициент a_v , здесь имеет смысл коэффициента макродисперсии, величина которого может существенно превышать коэффициент микродисперсии. Таким образом, дисперсионная схема теплопереноса должна быть охарактеризована двумя расчетными параметрами: эффективной пористостью n_e и коэффициентом тепловой дисперсии a_v , который в общем случае зависит от скорости фильтрации.

В среде со значительными размерами слабопроницаемых зон (по предварительным оценкам, более 0,5 м) теплоперенос в гетерогенно-блоковой схеме с сосредоточенной емкостью блоков может быть описан следующей системой уравнений [3, 5, 7]:

$$n'_e \frac{\partial T_6}{\partial t} = a(T_k - T_6),$$

$$V \frac{\partial T_k}{\partial z} = a(T_6 - T_k),$$

где T_k и T_b — средние температуры в каналах и блоках; α — коэффициент теплообмена между каналами и блоками, 1/сут.

Задачей исследования теплопереноса в таких условиях является определение следующих параметров: эффективной пористости слабопроницаемых блоков n'_e и коэффициента теплообмена α (в общем случае зависящего от скорости фильтрации).

Характер изменения температуры породы во времени (при мгновенном ее изменении на границе) может служить диагностическим признаком, позволяющим выбрать соответствующую данным условиям расчетную схему. Так, для дисперсионной схемы характерна сравнительная симметричность кривых, а для гетерогенно-блоковой — резкая асимметричность (быстрое нарастание температуры и плавное выполаживание кривой).

Определение вертикальной скорости фильтрации в рамках дисперсионной схемы в полуограниченной среде при мгновенном изменении температуры на поверхности основывается на известных зависимостях [1, 2, 6], выражаемых через интеграл вероятности.

В рамках гетерогенно-блоковой схемы при тех же условиях скорость фильтрации находится из решения приведенной выше системы уравнений, выражаемого через специальную функцию, значения которой приведены в работах [3, 7].

Из численной оценки следует [7], что в полуограниченной толще температура в каналах T_k с достаточной для практики точностью (погрешность не более 5% от максимальной температуры) совпадает с температурой T , соответствующей дисперсионной схеме при условии: $\frac{at}{n'_e} > \frac{\alpha z}{v} >$

$> 0,2; \frac{vt}{n'_e z} > 1; \frac{\alpha z}{v} > 0,2$. Вместе с тем температура в блоках T_b совпадает с температурой T в дисперсионной схеме при значительно больших значениях $\frac{\alpha z}{v}$. Обе схемы практически совпадают с погрешностью не более 10% при $\frac{\alpha z}{v} > 10$ и с погрешностью не более 3% при $\frac{\alpha z}{v} > 30$. Отсюда следует, что при определенных условиях гетерогенно-блоковая схема вырождается в дисперсионную.

В заключение рассмотрим результаты изучения теплопереноса в природных условиях. На рис. 2 приведены графики изменения температуры пород во времени при наливе в кольца большого диаметра. В первом случае отложения были представлены однородной супесью (интенсивность инфильтрации $V = 1$ м/сут). Температурная кривая на глубине $z = 0,2$ м имеет вид сравнительно симметричной S-образной кривой (кривая 1), характерной для дисперсионной схемы. По результатам обработки кривой проведена оценка параметров ($n_e = 0,7; a_v = 0,05$ м²/сут). Коэффициент a_v близок к коэффициенту температуропроводности данной породы.

В другом опыте инфильтрация происходила в породу, представленную трещиноватым тяжелым суглинком. Характерное расстояние между трещинами составляет 0,4–0,6 м. Температурная кривая на глубине $z = 1$ м (кривая 2) при $V = 2,2$ м/сут имеет асимметричную форму, типичную для

гетерогенно-блоковой схемы. По данным обработки результатов опыта получены следующие параметры: $n'_e = 0,5$; $\alpha = 3,3$ 1/сут.

Таким образом, в докладе представлены теоретические соображения и экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что для оценки скорости фильтрации по данным нестационарного температурного режима необходимо предварительно обосновывать применимость той или иной расчетной схемы теплопереноса и определять соответствующие этим схемам параметры. С этой целью необходимо проведение специальных натуральных исследований.

А B S T R A C T

The report states that non-stationary heat transfer in ground-water flow systems cannot be described by united model. The useful schemes depend on the texture and structure of rocks. The report contains the experimental data which shows the dependence of the coefficient of microdispersion on the flow velocity, and the data of the heat transfer in the time of infiltration "in situ" in different situations.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Азров М.Э., Тодес О.М.* Гидравлические и тепловые основы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. Л.: Химия, 1968.
2. *Бочеввер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М.* Основы гидрогеологических расчетов. М.: Недра, 1969.
3. *Корольков Б.П.* Специальные функции для исследования и динамики нестационарного теплообмена. М.: Недра, 1976.
4. *Чекалюк Э.Б.* Термодинамика нефтяного пласта. М.: Недра, 1965.
5. *Шестаков В.М., Рoshаль А.А., Пашковский И.С.* Методика определения миграционных параметров гетерогенных систем. — В кн.: Вопросы гидрогеологии. М.: Изд-во МГУ, 1973.
6. *Fried J.J., Combarous M.A.* Dispersion in porous media. — Adv. in Hydrosci., vol. 7, 1971.
7. *Roshal A.A., Shestakov V.M.* Théorie et méthodes de calcul de la migration des eaux souterraines dans les massifs hétérogènes. — Bull. B.R.G.M., Sect. 111, N 1, 1978.

УДК 553.7+553.78+661.424

Г.В. БОГОМОЛОВ, Ю.Г. БОГОМОЛОВ

ПРИРОДА МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ФУНДАМЕНТА

Наличие минерализованных вод в кристаллических породах под мощной толщей осадочных отложений общеизвестно и не вызывает сомнений в своей природе. Факт нахождения минерализованных вод и рассолов в кристаллических щитах и массивах является весьма неожиданным и трудно объяснимым с позиций классической теории вертикальной гидрохимической зональности [20, 17, 18, 11, 1, 9, 19, 21, 8, 4, 5].

Наибольшие величины проходки по породам фундамента имеются сейчас в Советском Союзе. На Кольском полуострове по этим породам пройдено сверхглубокой скважиной более 8200 м, Ромашкинской скважиной (Альметьевск, Башкирская АССР) — 3215 м. При общей глубине Ромашкинской скважины 5099 м и ее опробовании в интервале 4073—5099 м был получен приток подземной воды (120 м³/сут) с минерализацией 282,9 г/л, содержанием иода 8,3 мг/л, кальция 90,0 г/л, брома 1,9 г/л. В воде установлено 15—17% метана и до 5% тяжелых углеводов [15]. Наличие высокоминерализованных вод в породах кристаллического фундамента наблюдалось также на Кольском полуострове и в алмазоносных трубках взрыва в Якутии [7]. На Белорусском кристаллическом массиве, на территории Гродненской области, пройдено по породам фундамента до 300 м. Воды в породах фундамента хлоридно-натриевого состава, имеют широкое распространение и приурочены главным образом к зонам тектонических нарушений. Они установлены при производстве геологосъемочных и поисково-разведочных работ на железные руды и другие полезные ископаемые в районе городов Ивье, Щучин, Мосты [5]. В Припятской впадине, на юге БССР, породы фундамента вскрыты в среднем на 100 м в 160 скважинах, где получены притоки минерализованных вод. В нефтяных районах Западной Сибири разведочными и поисковыми скважинами фундамент вскрыт более чем в тысячи скважинах, где также получены притоки минерализованных вод.

Ф.А. Руденко, много лет посвятивший изучению гидрогеологии Украинского кристаллического щита, указывает на наличие в трещиноватых породах фундамента минерализованных вод и рассолов. По его данным [18], в районе Кривого Рога с поверхности и до глубины 80—100 м в породах фундамента распространены преимущественно сульфатные воды с минерализацией 1,5—2,0 г/л, далее следуют сульфатные и хлоридные воды с более высокой минерализацией, а на глубинах 200—400 м распространены воды хлоридно-кальциевого или хлоридно-натриевого состава с минерализацией более 100 г/л. Минерализованные воды подобного типа наблюдаются также в глубоких скважинах Кременчуга и Призовья. Не останавливаясь на генезисе минерализованных вод пород фундамента, Ф.А. Руденко отмечает, что количественная сторона процесса инфильтрационного питания и дренирования подземных вод отдельных стратиграфических горизонтов, как и Украинского кристаллического массива в целом, до настоящего времени продолжает оставаться малоизученной.

Скважины, пройденные в палеозойском кристаллическом фундаменте в Югославии, вскрыли на глубине 1625—1750 м подземные воды хлоридно-кальциевого состава с минерализацией до 15 г/л. Большое количество скважин вскрыли минерализованные воды на Канадском кристаллическом щите. Здесь в толще гранито-гнейсов минерализация подземных вод на глубине 500—600 м достигает 25—40 г/л, а на глубинах 1000 м — более 100 г/л.

Проблема перемещения водных растворов и флюидов из глинистого осадка в процессе его преобразования в породу — одна из важнейших задач при решении вопросов, связанных с образованием рудных залежей, нефтяных и газовых месторождений. Так, по данным лабораторных ис-

следований при предельном уплотнении 1 м^3 рыхлого осадка и превращении его в породу из него отжимается до 600 л раствора [6].

Если по вопросу формирования хлоридных кальциевых и хлоридных натриевых вод в осадочных толщах глубоких депрессий имеется обширная литература советских и зарубежных ученых, большинство которых происхождения этих вод связывают с седиментационными водами прежних соленых морских бассейнов или с процессами выщелачивания соленосных толщ, образовавшихся в тех же бассейнах [2, 10, 3, 16], то о природе минерализованных вод в породах кристаллического фундамента не существует общей точки зрения. Ряд исследователей [9, 13, 14, 12] связывают наличие минерализованных вод и углеводородов в породах фундамента с повсеместным и непрерывным диффузионным (реже фильтрационным) поступлением летучих газов из мантии через толщу земной коры к ее периферии.

Представляется, однако, что их образование происходит следующим образом. Положение минерализованных вод в прогибе и на массиве связано с прогибанием земной коры и, как следствие, с выжиманием соленых вод в глубоких частях депрессии из преимущественно глинистых разностей в результате увеличения геостатического давления. Разность гидростатических давлений минерализованных вод вызывает движение их из прогиба в сторону массива. Этот так называемый элизионный гидрогеологический этап будет продолжаться до тех пор, пока гидростатическое давление в прогибе (местная область питания) будет обеспечивать движение минерализованных вод к его бортам. Однако полного выколаживания поверхности пресных и минерализованных вод не произойдет, поскольку новое прогибание впадины приведет к дальнейшему уплотнению осадка, выжиманию новых порций соленых вод и восстановлению гидродинамического напора. В случае, когда зона минерализованных вод в пределах осадочного чехла на массиве вообще отсутствует, разность гидростатических давлений приведет к внедрению минерализованных вод по тектоническим нарушениям в тело массива. Поэтому вполне объяснимо, что в ряде пунктов Балтийского и Украинского щитов, а также Воронежского и Белорусского кристаллических массивов встречены соленые воды и рассолы.

Подобная закономерность распространения соленых подземных вод установлена также в породах кристаллических массивов Канады, Франции, Испании, Африки и др., где в трещинах кристаллических пород встречены также жидкая нефть, метан, асфальтены.

Приведенные данные о наличии сильно минерализованных вод и углеводородов в породах кристаллических фундаментах различных районов мира свидетельствуют о глобальном характере рассматриваемого процесса. Это еще раз подтверждает правомерность гипотезы органического генезиса нефти и газа, даже если они находятся в метаморфических породах кристаллического фундамента. Эти данные свидетельствуют о необходимости обратить большее внимание на изучение химизма подземных вод, углеводородов пород кристаллического фундамента с целью составления прогнозов поисков в фундаменте различных полезных ископаемых.

ABSTRACT

The mechanism of release of mineralized ground water under pressure from a geological depression is concerned, the depression being filled with sedimentary clay rocks. This mineralized ground water moves to the surrounding crystalline rocks.

Actual data on the occurrence of mineralized ground water in crystalline foundations and the mechanism of ground water formation allow predicting the search for mineral deposits in metamorphic rocks.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бабинiec А.Е.* Подземные воды юго-запада Русской платформы. Киев: Изд-во АН УССР, 1961.
2. *Балашов Л.С., Зайцев И.К., Овчинников А.М.* Проблема генезиса хлоридных кальциево-натриевых рассолов. — В кн.: Формирование хлоридных кальциево-натриевых подземных вод. М.: ВСЕГИНГЕО, 1968.
3. *Богомолов Г.В., Яншина М.С., Плотникова Г.Н., Флерова Л.И.* Подземные воды Центральной и Западной части Русской платформы. Минск: Изд-во АН БССР, 1962.
4. *Богомолов Г.В., Шпаков О.Н.* Условия формирования подземных вод территории Белорусского массива. — Докл. АН БССР, 1971, т. 15, № 2.
5. *Богомолов Г.В., Шпаков О.Н.* Гидрогеология Белорусского кристаллического массива. Минск: Наука и техника, 1974.
6. *Богомолов Г.В., Мухин Ю.В., Балакиров Ю.А.* и др. Гидродинамика и геотермические условия нефтеносных структур. Минск: Наука и техника, 1977.
7. *Богомолов Г.В., Атрощенко П.П., Богомолов Ю.Г., Цалко П.Б.* Природа рассолов газо- и нефтепроявлений в породах кристаллических массивов. — Докл. АН СССР, 1978, т. 238, № 5.
8. *Грейсер Е.Л., Козлов В.Б., Павлов А.Н.* Рассолы в кристаллических породах Балтийского щита. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1970, № 3.
9. *Дерггольц В.Ф.* К гипотезе формирования природных рассолов. — Докл. АН СССР, 1962, т. 142, № 6.
10. *Зайцев И.К.* Некоторые закономерности распространения и формирования подземных рассолов на территории СССР. Л., Бюл. ВСЕГЕИ, 1958, № 1.
11. *Киссин И.Г.* Гидрогеология железорудных месторождений Староскопского района КМА. — В кн.: Работы геологической станции на Курской магнитной аномалии. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
12. *Кропоткин П.Н., Валяев Б.М.* Глубинные разломы и дегазация Земли. — В кн.: Земная кора и геосинклинальный процесс. М.: Наука, 1978.
13. *Кротова В.Л.* Единство флюидов и геотектонез. — В кн.: Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии. Минск: Наука и техника, 1978.
14. *Кудрявцев Н.А.* О происхождении нефти. — В кн.: Проблемы происхождения нефти и газа и условия формирования их залежей. М.: Госоптехиздат, 1960.
15. *Муслимов Р.Х.* Результаты проводки глубокой скважины в Альметьевске. — Геология нефти и газа, 1977, № 5.
16. *Пиннекер Е.В.* Особенности формирования рассолов Ангаро-Ленского артезианского бассейна. — В кн.: Минеральные воды Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963.
17. *Руденко Ф.А.* Гидрогеология Украинского кристаллического массива. М.: Госгеолтехиздат, 1958.
18. *Руденко Ф.А.* Режим, условия формирования и перспектива использования трещинных вод Украинского кристаллического массива. — В кн.: Труды первого Украинского гидрогеологического совещания. Киев: Изд-во АН УССР, 1961, т. 1.
19. *Толстихин Н.И.* Новый вариант химической нумерации природных вод. — В кн.: Доклады отделений и комиссий географического общества СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1967, вып. 2.

20. *Щеголев Д.И.* Рудничные воды. М.: Углетехиздат, 1948.

21. *Шпаков О.Н.* Новые данные о химическом составе подземных вод кристаллического фундамента Белорусского массива. — В кн.: Материалы третьей научной конференции молодых геологов Белоруссии. Минск: Изд-во АН БССР, 1969.

УДК 541.124

И.Ф. ВОВК

ЕСТЕСТВЕННЫЙ РАДИОЛИЗ СИСТЕМЫ "ВОДА—ГОРНАЯ ПОРОДА" И ЕГО ВКЛАД В ГЕОХИМИЮ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ВОДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Радиолиз системы "вода—порода" — закономерный геологический процесс, обусловленный выделением энергии при распаде радиоактивных элементов в земной коре [1, 2, 12]. Главным эффектом, вызываемым ионизирующей радиацией в рассматриваемой системе, и, следовательно, главным фактором ее радиолитического преобразования является протекание окислительно-восстановительных реакций между продуктами радиолиза воды (гидратированными электронами, водородными, гидроксильными и гидроперекисными радикалами), растворенными веществами и горными породами [4].

Математическая модель для количественной оценки геохимической роли отмеченных реакций в земной коре базируется на расчете поглощенных доз радиоактивных излучений в горных породах и подземных водах, значениях радиационно-химических выходов радикальных продуктов разложения воды, данных о концентрациях химических элементов в твердой и жидкой фазах горных пород, константах скоростей их реакций с образующимися при радиолизе воды радикалами и физико-механических параметрах водонасыщенных горных пород [3, 16, 17].

Экспериментальная проверка подтвердила важную роль радиоактивных излучений в формировании определенной физико-химической обстановки и выносе химических элементов из твердой фазы горных пород в жидкую, а также принципиальную правильность предложенной математической модели [3, 5, 17, 18]. Эксперименты также показали более высокую относительную эффективность химического действия ионизирующих излучений при низких мощностях поглощенных доз и в гетерогенных системах по сравнению с гомогенными [14, 15]. На этом основании указанная модель при наличии соответствующих материалов экспериментальных радиационно-химических и региональных радиологических, гидрогеологических и геохимических исследований может быть применена для оценки некоторых геохимических следствий радиолиза системы "вода—порода".

Очевидно, с этой целью логично обратиться в первую очередь к урановым месторождениям. Принято считать, что окислительная зональность на урановых месторождениях связана исключительно с атмосферным кислородом. Однако расчет баланса поступления атмосферного кисло-

рода к урановой залежи с движущимися подземными водами и количества окислителей, образующихся внутри залежи в результате их радиолиза, показывает, что даже в случае урановорудного ролла в песчаных породах, типа Паудер-Ривер [9], в зоне свободного водообмена оба источника окислителей примерно равноценны. При этом в той части уранового тела, где проходит окислительно-восстановительная граница, в присутствии атмосферного кислорода выход окислительных продуктов радиолиза воды резко возрастает за счет восстановительных. Урановая залежь здесь окисляется прежде всего окислительными продуктами радиолиза воды. Уран сносится вниз по потоку, где он при наличии акцепторов окислительных продуктов (органические вещества, сульфиды или молекулярный водород) восстанавливается восстановительными продуктами радиолиза воды. Вместе с ураном в глубь залежи мигрируют также образовавшиеся в процессе обычных и радиолитических окислительных процессов и накопившиеся в подземных водах сульфаты, тиосульфаты, селенаты железа и других металлов, гидрокарбонаты, свободная углекислота. Тиосульфаты, диспропорционируя, дают здесь вторичные сульфиды. Вверх по потоку остаются образовавшиеся с участием радиолиза системы "вода—порода" аутигенные глинистые минералы, скопления вторичного кремнезема, малоподвижные и устойчивые в окислительных условиях соединения железа, титана, алюминия. Следовательно, даже в верхней гидродинамической зоне на месторождениях урана в его рециклическом перемещении и формировании гидрогеохимической и минералого-геохимической зональности радиолиз системы "вода—горная порода" играет заметную роль.

В зонах затрудненного и весьма затрудненного водообмена в анагенных месторождениях урана, приуроченных к нефтяным залежам и битумам, радикалы-окислители расходуются на окисление органического вещества, а восстановительные продукты радиолиза воды и органических веществ, главным образом свободный водород, мигрируют в подземных водах в окружающие месторождения породы и, восстанавливая соединения железа, осветляют их. Продукты радиолитической окислительной деструкции органических веществ (углекислота, органические кислоты, тиосульфаты) также накапливаются в подземных водах. Взаимодействуя с вмещающими породами, они производят их обеление и дают новообразования карбонатов, кремнезема, сульфидов, оксалатов, сульфатов, включая редкие минералы (вевеллит, ярозит, алунит и др.).

Расчет показывает, что месторождение урана средних размеров (2,5 тыс. т. урана), генерирующее окислители и водород путем радиолиза воды, за обозримое геологическое время (10^8 лет) в состоянии разрушить нефтяную залежь с исходными запасами до миллиона тонн нефти, превратив ее в газ и твердый антроксолитовый остаток.

Интенсивность и размеры ореолов восстановительного эпигенеза в окружающих породах определяются в этом случае масштабами радиолитических процессов преобразования органического вещества. Эпигенетическую геохимическую зональность на анагенных урано-битумных месторождениях, которая, как справедливо указывается в монографии [11], является по существу окислительно-восстановительной зональностью,

трудно объяснить с каких-либо других позиций, кроме радиолитического генерирования окислителей и водорода, являющегося генератором одновременно окисляющих и восстанавливающих продуктов. Именно радиолитическая система "вода—горная порода" дает наиболее убедительное объяснение как известной зависимости между количеством урана в залежи и размерами ореолов изменения пород, так и тому, что нередко окислялись огромные массы органического вещества в пределах рудной залежи, заключенной по периферии в оболочку восстановленных пород, т.е. при отсутствии доступа окислителей извне.

Процесс радиолитического генерирования окислителей и водорода, как показано в работах [6—8, 10, 13], при достаточно длительном времени его протекания может привести к заметным геохимическим следствиям и при значительно более низких, даже кларковых содержаниях радиоактивных элементов в горных породах и подземных водах.

Выполненная нами оценка, основанная на глобальном характере и геологическом масштабе времени проявления радиолитического генерирования, показывает, что этот процесс за время $4 \cdot 10^9$ лет привел к разложению по меньшей мере $215 \cdot 10^6$ км³ воды. Эквивалентное количество выделившегося водорода составляет $0,24 \cdot 10^{23}$ г, а кислорода в составе высокорекреационных радикалов-окислителей соответственно $1,91 \cdot 10^{23}$ г. Такое количество радиолитического водорода могло с избытком обеспечить гидрогенизацию всего содержащегося в земной коре органического вещества, а количество кислородсодержащих радиолитических продуктов — наблюдаемую степень окисления земной коры. В этом аспекте радиолитическое генерирование подземных вод выступает как один из ведущих факторов геохимической эволюции вещества земной коры. По-видимому, его дальнейший научный анализ, как и предвидел В.И. Вернадский [1], может послужить ключом к решению многих основных геологических проблем.

В соответствии с расчетом при кларковом содержании радиоактивных элементов за период, начиная с раннего протерозоя (2500 млн. лет), в осадочных глинистых и гранитных породах в результате радиолитического генерирования исходная минерализация 35 г/л могла возрасти до 80 г/л, в более древних (архейских) образованиях того же состава с возрастом более 3200 млн. лет она должна превысить 120—150 г/л, а при возрасте этих пород 3900—4000 млн. лет большая часть воды должна разложиться и образоваться соль. Этот механизм объясняет некоторые наблюдаемые закономерности минерализации и состава вод кристаллических пород древних щитов.

К числу важнейших следствий радиолитического генерирования системы "вода—порода" можно отнести установленное в ряде случаев на региональном материале в связи с радиоактивностью горных пород и вод и подтвержденное экспериментально окисление серы и органических веществ. Геохимически оно выражается в протекании соответственно сернокислого и углекислого радиолитических процессов с накоплением в поровых растворах сульфатов, тиосульфатов, свободной углекислоты, гидрокарбонатов, аммонийного и свободного азота, карбоновых кислот, карбонильных соединений, иода, брома и других компонентов. Другими следствиями являются метанообразование, преобразование соединений азота, интенсификация процес-

сов геохимической миграции галогенов, кремнезема и многих металлов, особенно с переменной валентностью, как путем изменения состояния их окисленности, так и путем образования прочных миграционных комплексов.

Естественный радиолит системы "вода—порода" является, таким образом, одним из механизмов формирования состава некоторых типов минеральных, термальных и промышленных вод, рудоносных растворов, газообразования и эпигенетического преобразования водовмещающих горных пород. Его дальнейшее изучение будет способствовать прогрессу геологической науки в целом, а также решению ряда конкретных проблем, таких, как создание научной теории уранового рудообразования, взаимосвязи радиоактивности и ряда полезных ископаемых, в том числе руд цветных, редких и благородных металлов, а соответственно — более обоснованному применению существующих и разработке новых поисковых критериев на указанные виды минерального сырья.

АБСТРАКТ

An important role of water-rock system radiolysis in the geochemical migration of uranium and in formation of geochemical and mineralogical zoning around uranium deposits is noticed. A preliminary estimation shows that global pore water radiolysis on a geologic scale of time could suffice to generate oxidants in the amount equal to the existent degree of the earth crust oxidation and the equivalent quantity of hydrogen as well as concentrate pore water solutions up to brines in the old Archean rocks of the shields.

Oxidation of sulfides and organic matter accompanied by sulfate, carbonate and ore metal accumulation in subsurface waters and also some other geochemical consequences of water-rock system radiolysis are believed being important.

All things considered natural water-rock system radiolysis is regarded as one of the mechanisms for general geochemical evolution of the earth crust matter and in particular for formation of chemical composition of some mineral and thermal water types, ore fluids and changes of reservoir rocks.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В.И. Избр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1954, т. 1.
2. Вовк И.Ф. Проблема радиогенной метаморфизации природных вод и горных пород. — Литология и полезные ископаемые, 1974, № 1.
3. Вовк И.Ф. Влияние естественного радиолитиза воды на миграцию иода. — В кн.: Вопросы прикладной геохимии и петрофизики. Киев; Вища школа, 1976.
4. Вовк И.Ф. Радіолітична міграція елементів у земній корі. — Вісник АН УРСР, 1977, № 5.
5. Вовк И.Ф., Литовчак А.В. О влиянии радиоактивных излучений на взаимодействие горных пород и минералов с водой. — В кн.: Радиоактивные элементы в горных породах. Новосибирск: Наука, 1975.
6. Вовк И.Ф., Николаенко Т.С. Сульфаты в подземных водах нижних гидродинамических зон Днепровско-Донецкой впадины и их связь с радиоактивностью горных пород. — Геологический журнал АН УССР, 1975, т. 35, вып. 5.

7. *Гуцало Л.К.* Радиоллиз воды как источник свободного кислорода в подземной гидросфере. — *Геохимия*, 1971, № 12.
8. *Гуцало Л.К.* О процессах радиоллиза воды в земной коре. — *Советская геология*, 1974, № 8.
9. *Дал А.Р., Хэзмайер Д.Л.* Генезис и особенности урановых месторождений в южной части бассейна Паудер-Ривер, Вайоминг, США. — В кн.: *Образование месторождений урана*. М.: Мир, 1976.
10. *Евдокимов В.А.* Влияние радиоактивной воды на состав газа и нефти в природных условиях. — *Геология нефти*, 1957, № 2.
11. *Евсеева Л.С., Перельман А.И., Иванов К.Е.* Геохимия урана в зоне гипергенеза. М.: Атомиздат, 1974.
12. *Сидоренко Г.А.* Радиационная минералогия. — *Записки ВМО*. Сер. 2, 1978, ч. 107, вып. 4.
13. *Соколов В.А.* Очерки генезиса нефти. М.: Гостоптехиздат, 1948.
14. *Супруненко К.А., Стрелко В.В., Кабакчи А.М.* Роль поверхности силикагеля в радиационно-химических превращениях адсорбированных углеводородов. — *Теоретическая и экспериментальная химия*, 1969, т. 5, вып. 3.
15. *Шарпатый В.А., Проскурин М.А.* О промежуточных продуктах радиоллиза воды. — В кн.: *Труды II Всесоюз. совещ. по радиационной химии*. М.: Наука, 1962.
16. *Vovk I.F.* A geochemical model of natural radiolysis of groundwater. — *Inform. Kernforsch. und Kerntechn.*, 1976, N 3.
17. *Vovk I.F.* The radiolytic model of sulfide oxidation in natural water-rock systems. — *Proc. 2-nd intern. Symp. Water-Rock Interaction, Strasbourg, 1977, Sec. IV.*
18. *Vovk I.F., Klechenko S.A.* Interaction of the solid liquid phases of marine sediment under the effect of irradiation. — *Proc. Intern. Symp. Water-Rock Interaction, Prague, 1976.*

УДК 551.49 : 550.84

А.В. ЩЕРБАКОВ, В.П. ЗВЕРЕВ

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ СРЕДЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С МИНЕРАЛЬНЫМ ВЕЩЕСТВОМ ГОРНЫХ ПОРОД

Проблема изучения влияния природных растворов на процессы образования и последующую геохимическую эволюцию минерального вещества горных пород земной коры поставлена основателями советской геохимии [1, 7, 4]. Обширный фактический материал, накопленный к настоящему времени советскими и зарубежными исследователями по геохимии подземных вод, позволил выделить основные специфические типы их гидрогеохимических сред, под которыми понимается совокупность химических, геохимических и термобарических параметров природных водных растворов, определяющих направленность, интенсивность и общий характер преобразования минерального вещества горных пород [6].

Главнейшими генетическими типами гидрогеохимических сред подземных вод, обуславливающих образование и эволюцию различных эпигенетических рудных и нерудных минералов, являются: кислородная сернокислая, кислородная кислая, углекислая содовая, углекислая хлоридно-содовая, сероводородная хлоридно-содовая и сероводородная хлоридная (табл. 1).

Направленность изменения минерального вещества при взаимодействии с подземными водами выделенных гидрогеохимических сред изучалась термодинамическими методами, которые являются одним из основных путей количественной оценки протекающих в недрах Земли химических реакций минералообразования. Подобный подход к изучению физико-химической эволюции природных систем исходит из принципа локальных равновесий [4], заключающегося в том, что необратимый в целом процесс природного минералообразования можно разбить на ряд элементарных в пространстве и времени этапов, для которых выполняются условия термодинамического равновесия.

Термодинамический анализ процессов взаимодействия подземных вод зон различной интенсивности водообмена с основными породообразующими силикатными минералами позволил установить, что при переходе от кислородных кислых гидрогеохимических сред подземных вод зоны активного водообмена к сероводородной хлоридно-содовой среде зоны более замедленного водообмена происходит изменение вероятных направлений преобразования породообразующих алюмосиликатов от каолинита и монтмориллонита до гидрослюд и хлорита соответственно. В условиях сероводородной хлоридной гидрогеохимической среды, характеризующей зону весьма замедленного водообмена платформенных областей, подавляющее большинство породообразующих силикатов стабильно, а углекисло-содовые гидрогеохимические среды, связанные с зоной глубокой циркуляции горноскладчатых сооружений, обуславливают широкое развитие процессов цеолитизации. Все это является одной из причин возникновения эпигенетической минералогической зональности, установленной литологическими исследованиями [5].

Интенсивность процессов взаимодействия подземных вод с минеральным веществом горных пород во многом зависит от преобладающего режима массопереноса: конвективного, конвективно-диффузионного или диффузионного [2]. С ним связан как отвод продуктов реакции, так и привнос веществ, являющихся наряду с растворяющей способностью воды движущей силой химического преобразования минерального вещества. Это донаторы электронов, обуславливающие процессы окисления-восстановления, и ионы водорода-протона, контролирующие реакции гидролиза породообразующих минералов.

Общие закономерности влияния гидрогеохимических сред на преобразование породообразующих силикатов и алюмосиликатов следующие.

Высокие концентрации иона H^+ в подземных водах кислородной сернокислой и кислородной кислой гидрогеохимических сред обуславливают интенсивное развитие процессов гидролитической диссоциации силикатов, а низкие (в подземных водах содовых и хлоридно-содовых гидрогеохимических сред) ограничивают ее образованием хлоритов и гидрослюд. Гидролитическому разложению также способствуют низкие концентрации K^+ , Na^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} . Высокие концентрации этих катионов препятствуют диссоциации силикатов, преобразование которых в подобных условиях

Таблица 1

Генетические типы гидрогеохимических сред верхних частей земной коры

Гидрогеохимические среды	Наиболее характерные водовмещающие формации	Температура, °С	Геохимические			
			Eh, мв	pH	O ₂ , мг/л	
Кислородная сернокислая	Терригенно-угленосная (пиритизированные сланцы, угли, аргиллиты, конгломераты и др.)	35	+300— +700	3,5—12	—	
Кислородная кислая	Коры выветривания и водовмещающие породы зоны активного водообмена	20	+250— +600	4—7	0,1— 5,5	
Углекислая содовая	Вулканогенно-осадочная (туфы, порфириты, аргиллиты, филлиты и т.п.)	до 100 и выше	0— +250	7—9,5	до 0,5	
Углекислая хлоридно-содовая	Терригенная (аргиллиты, песчаники, конгломераты, алевролиты и т.п.)	до 100 и выше	—	—	сл.	
Сероводородная хлоридно-содовая	Терригенно-битуминозная (песчаники, глины и т.п.)	до 75	+100 до —250	6,5—9,5	—	
Сероводородная хлоридная	Карбонатно-сульфатная (битуминозные известняки, доломиты, гипсы, ангидриты)	до 100	от +25 до —350	4,5—6,5	—	

ограничивается промежуточными стадиями (гидрослюдизация, хлоритизация, монтмориллонитизация). Следует отметить, что наибольшей устойчивостью в этом случае обладают силикаты, в кристаллическую решетку которых входит катион, имеющий наибольшую активность в данной гидрогеохимической среде.

На конечный результат гидролиза силикатов большое влияние оказывает концентрация в подземных водах соединений кремния. Низкие активности $H_4SiO_4^0 (<10^{-5})$ обуславливают полное разрушение глинистых минералов. При более высоких активностях кремния преобразование силикатов заканчивается на промежуточных стадиях.

Мерой количественной оценки интенсивности процессов взаимодействия подземных вод с минеральным веществом горных пород является

и характеризующие их геохимические параметры

параметры		Преобладающий режим массопереноса	Ведущие процессы преобразования минерального вещества	Типичные новообразованные минералы
CO ₂ , мг/л	H ₂ S, мг/л			
—	—		Окисление, гидролитическое разложение, каолинитизация, монмориллонитизация	Ярозит, ромбоклаз, алунит
до 10	—	Конвективный		Гиббсит, каолинит, галлуазит, монмориллонит, гетит
100—2600	—		Цеолитизация, гидрослюдизация, давсонитизация, кальцитизация, альбитизация	Давсонит, анальцим, ломонит, сода
150—3500		Конвективно-диффузионный		Натролит, томсонит, сидерит, кальцит
15—100	3—200		Восстановление, хлоритизация, кальцитизация, образование сульфидов	Кальцит, гипс, хлорит, сера
25—1200	10—1500	Диффузионный		Арсенопирит, халькопирит, пирит, сидерит, арагонит, гипс, сера

подземный химический сток [3]. Использование метода стехиометрического баланса масс между твердой и жидкой фазами позволяет подойти к определению масс различного типа горных пород, измененных или полностью выщелоченных в результате деятельности подземного химического стока.

Изучение гидрогеохимических сред и рациональное применение методов термодинамического анализа и стехиометрического баланса к поискам месторождений многих полезных ископаемых позволяют рассмотреть развитие геохимических процессов в пространстве и времени и выявить очаги разгрузки подземных водных растворов в прошлые эпохи, обычно представляющие в наше время залежи ценных руд или нерудных минеральных образований.

АБСТРАКТ

On a mis en évidence les types génétiques essentiels du milieu hydrochimique des eaux souterraines déterminant la formation et l'évolution de la zonation minéralogique épigénétique: oxygéné — sulfaté, oxygéné-acide, carbonate sodé, carbonate chloruré-sodé, hydrogène-sulfuré chloruré-sodé et hydrogène-sulfuré. On a montré les régularités thermodynamiques de leur interaction avec la matière minérale des roches montagneuses.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т. II. История природных вод, ч. I, вып. III. М.: ОНТИ, 1936.
2. Зверев В.П. О механизме массопереноса растворенного вещества в верхних частях земной коры. — Докл. АН СССР, 1972, т. 206, № 6.
3. Зверев В.П., Кононов В.И. и др. Миграция химических элементов в подземных водах СССР. М.: Наука, 1974.
4. Коржинский Д.С. Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
5. Коссовская А.Г., Шутов В.Д. Фации регионального эпигенеза и метагенеза. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1963, № 7.
6. Тимофеев П.П., Щербяков А.В. Проблемы гидрогеохимии литогенеза. — Литология и полезные ископаемые, 1972, № 2.
7. Ферсман А.Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. М.: Изд-во АН СССР, 1939.

УДК 550.42

С.Р. КРАЙНОВ, Б.Н. РЫЖЕНКО, И.В. ВАСИЛЬКОВА

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ МАШИННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ "ВОДА—ПОРОДА"

На современном уровне развития геохимии подземных вод стадия эмпирического накопления и обобщения материалов сменяется установлением причинно-следственных связей между явлениями на основе количественных методов, заимствованных из точных фундаментальных наук. Последнее является основой для прогнозирования химического состава подземных вод в условиях их естественного и нарушенного режима. Разработка методов прогнозирования невозможна без знания существа явлений, происходящих при формировании химического состава подземных вод в естественных и нарушенных условиях. В настоящее время приложение физико-химических методов к познанию гидрогеохимических явлений в значительной степени приблизило нас к пониманию сути этих явлений. Установлено, что принципиально среди компонентов химического состава подземных вод имеются два крайних типа: компоненты, в гидрогеохимии которых взаимодействия в системе "вода—порода" обычно не имеют решающего

значения (хлор, бром); компоненты, в гидрогеохимии которых решающими являются химические взаимодействия в системе "вода—порода" (кальций, магний, стронций, железо, фтор и другие). Большая часть компонентов химического состава подземных вод (особенно микрокомпонентов) принадлежит ко второму типу, и их содержания в подземных водах определяются положением динамического равновесия в гетерогенных системах "вода—порода".

Между тем применяемые методы прогнозирования химических свойств и качества воды при решении различных гидрогеологических задач имеют общий недостаток — они или не учитывают взаимодействий в системе "вода—порода", или учитывают их в такой степени, которая не соответствует значимости и химическому существу этих взаимодействий. В настоящее время к решению задач прогнозирования химических свойств подземных вод подходят достаточно упрощенно — преимущественно используют схему "поршневого вытеснения" часто без учета процессов физико-химических взаимодействий между разнородными водами и водоносными породами. Применяемая же в отдельных случаях методика учета некоторых из этих процессов базируется на исходных предпосылках, которые в значительной мере формально заимствованы из разделов физической химии, посвященных молекулярной диффузии и сорбции [6].

Решение задачи прогнозирования химического состава подземных вод становится более перспективным на основе современных представлений о состояниях (формах переноса) элементов в подземных водах и формах их участия в гидрогеохимических процессах. В свете этих представлений изменение растворимости твердого вещества в растворе другого вещества рассматривается как следствие комплексообразования частиц растворяющегося вещества. Исходя из всеобщего характера ассоциации растворенных в воде частиц и основанной на этой модели процесса растворения [8], величину концентрации любого химического компонента в природном растворе можно рассматривать и вычислять как величину, обусловленную равновесиями между твердой фазой и соответствующими комплексными формами элемента в водной фазе. Так, при растворении CaCO_3 в чистой воде выражение для концентрации кальция в растворе будет иметь вид

$$m_{\Sigma \text{Ca}} = m_{\text{Ca}^{2+}} + m_{\text{CaHCO}_3^+} + m_{\text{CaCO}_3^0} + m_{\text{CaOH}^+} + \dots$$

При растворении CaCO_3 в растворе другого вещества, например NaCl , происходит ассоциация частиц растворяющегося вещества Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- с частицами растворенного вещества Na^+ , Cl^- :

$$m_{\Sigma \text{Ca}} = m_{\text{Ca}^{2+}} + m_{\text{CaHCO}_3^+} + m_{\text{CaCO}_3^0} + m_{\text{CaOH}^+} + m_{\text{CaCl}^+} + m_{\text{CaCl}_2^0} + \dots$$

Образование растворимых комплексных соединений способствует разложению твердых соединений и отводу продуктов растворения от поверхности реакции. При этом установлено, что растворимость соединений и скорость их растворения увеличиваются при наличии в растворе катионов и анионов (аддендов), образующих с компонентами растворяющегося вещества устойчивые комплексные соединения. В связи с этим возрастает, например, интенсивность разложения соединений

железа в присутствии фульвокислот (ФК), соединений алюминия — в присутствии ФК и фтора, соединений фтора — в присутствии алюминия и т.д. При этом растворимость соединений увеличивается с ростом концентраций аддендов (для катионов соединений) и элементов-комплексообразователей (для анионов).

Установлено также, что растворимость твердой фазы возрастает прямо пропорционально увеличению констант устойчивости комплексных соединений, образуемых компонентами твердой фазы в водном растворе [8]. В связи с этим по влиянию на растворимость, например, соединений алюминия компоненты околонейтральных вод располагаются в следующий ряд: $\text{ФК} > \text{F}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$.

Согласно законам термодинамики (Д. Гиббс) на основе термодинамических свойств индивидуальных веществ возможно теоретически корректное определение равновесного состава системы любой компонентности и фазового состояния. Эта возможность уже широко используется в химии и геохимии для систем невысокой компонентности. Создание алгоритмов для ЭВМ позволило применить этот метод ко многокомпонентным гидрогеохимическим системам с большим числом фаз [3, 11, 10]. При определении равновесного состава можно учесть все вероятные формы существования элементов. Так, для кальция учитывают Ca^{2+} , CaOH^+ , CaF^+ , CaCl^+ , CaCO_3^0 , CaHCO_3^+ , CaSO_4^0 , $\text{CaH}_3\text{SiO}_4^+$; для натрия — Na^+ , NaF^0 , NaCl^0 , NaHCO_3^0 , NaCO_3^- , NaSO_4^- ; для фтора — F^- , HF^0 , CaF^+ , MgF^+ , NaF^0 , $\text{BF}_2(\text{OH})_2^-$, $\text{BF}(\text{OH})_3^-$, AlF^{2+} , AlF_2^+ , AlF_3^0 , FeF^{2+} , FeF_2^+ ; и т.д.

Теоретические основы и методика таких расчетов для установления количественного состава равновесных гидрогеохимических систем имеются в работах [4, 8, 10]. Для расчетов используют обширную информацию о термодинамических свойствах растворенных в воде неорганических, а в последнее время и органических веществ, которая была получена точными физико-химическими методами [9, 5, 12, 13] и относительно быстро пополняется данными. Для получения недостающих данных (особенно характеризующих свойства веществ при повышенных температурах и давлениях) возможно применение методов сравнительного анализа [2] и результатов эмпирического и теоретического обобщения температурной и барической зависимости констант равновесия [1, 7, 11].

Из этих положений и представлений следует возможность прогнозирования химического состава подземных вод на основе моделирования физико-химических взаимодействий в системе "вода-порода". Прогнозирование. Это основано на нахождении такого количественного равновесного состава гидрогеохимической системы, который отвечает минимуму энергии Гиббса. Из заданных возможных твердых фаз и растворенных соединений ЭВМ выбирает такой состав раствора, который находится в равновесии с принятыми для рассмотрения твердыми фазами при определенных парциальных давлениях летучих компонентов.

Принципиальные недостатки такого моделирования следующие.

1. В основе применения методов физико-химической термодинамики к любым системам лежат положения о существовании в этих системах химического равновесия. Гетерогенные гидрогеохимические макросистемы не удовлетворяют этому положению — это неравновесные системы. Тем

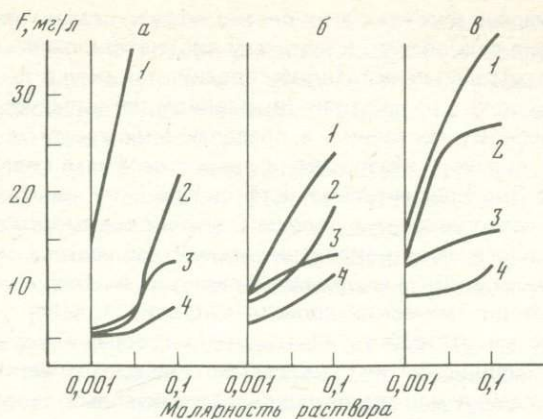
не менее на отдельных участках этих систем могут устанавливаться частичные или локальные равновесия, к которым вполне приложимы все принципы химической термодинамики. Существование таких участков часто связано с тем, что скорость релаксации (выравнивания) химического состава систем к равновесному состоянию в пределах этих участков больше скорости изменения внешних независимых геологических и гидрогеологических параметров. Экспериментально установлено, что чем ближе система к равновесному состоянию, тем больше степень сходимости прогнозируемых явлений с геологически и экспериментально наблюдаемыми.

2. Принципиально слабым местом всех расчетов, выполненных на основе стандартных термодинамических свойств веществ, остается учет отклонения реальных систем от свойств идеального раствора, который осуществляется через коэффициенты активности эмпирического или полутеоретического происхождения или же на основе ограниченных теорий (электростатическая теория Дебая-Хюккеля; теория регулярных растворов и т.д.). Поэтому точность результатов термодинамических расчетов определяется не только погрешностью стандартных термодинамических данных, но и погрешностью использованной системы коэффициентов активности.

3. В расчете пока не учитываются кинетические параметры и невозможно произвести оценку времени и скорости гидрогеохимических явлений. Дальнейшее совершенствование рассмотренных методов моделирования и прогнозирования гидрогеохимических явлений должно идти по линии введения в расчеты кинетических параметров. Это реально выполняемая задача.

Приложение рассмотренных методов прогнозирования к решению конкретных гидрогеохимических вопросов показало, что они особенно эффективны при прогнозировании вероятных изменений концентраций микрокомпонентов в связи с изменениями общего химического состава подземных вод в условиях естественного и нарушенного режима. Их достоверность была оценена на основании экспериментальных исследований взаимодействий в системах "растворы различного химического состава — порода", а также на основании контроля прогнозируемых явлений наблюдениями за изменением химического состава подземных вод, происходящих при эксплуатационном водоотборе. В частности, методы физико-химического моделирования были широко использованы нами при изучении фторосодержащих подземных вод. Все машинные вычисления были выполнены в МГУ на ЭВМ "Минск-32" по программе, разработанной на кафедре геохимии Ю.В. Шваровым. На основе моделирования с помощью ЭВМ были не только объяснены причины более высокой растворяющей способности по отношению к фторосодержащим породам $\text{CO}_3\text{-Na}$ и $\text{HCO}_3\text{-Na}$ вод сравнительно с $\text{SO}_4\text{-Na}$ и Cl-Na . (ряд растворов $\text{CO}_3\text{-Na} > \text{HCO}_3\text{-Na} > \text{SO}_4\text{-Na} > \text{Cl-Na}$, так как $pK_{\text{CaCO}_3^0} > pK_{\text{CaSO}_4^0} > pK_{\text{CaCl}^+}$), но и предсказаны те концентрации фтора, которые должны формироваться в этих растворах при любых изменениях их концентраций.

Рис. 1 иллюстрирует сопоставление результатов моделирования физико-химических взаимодействий в межфазовых системах "CaF₂ — растворы различного химического состава" с результатами экспериментального исследования этих же систем. Из рисунка следует достаточно высокая сте-



Р и с. 1. Результаты машинного расчета и экспериментального установления содержания фтора в водных системах $\text{CaF}_2 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ (1), $\text{CaF}_2 - \text{NaHCO}_3$ (2); $\text{CaF}_2 - \text{Na}_2\text{SO}_4$ (3); $\text{CaF}_2 - \text{NaCl}$ (4) (25°C)

а — результаты машинного расчета равновесного состава результирующих растворов на основе модели комплексообразования; *б* — результаты экспериментального изучения взаимодействий в тех же системах при Т:Ж 1:20; *в* — то же, при Т:Ж 1:5

пень достоверности прогнозирования изменения степени фтороносности растворов в связи с изменением состава и концентраций компонентов в этих растворах.

Данные этого же моделирования были положены в основу прогноза фтороносности подземных вод действующих водозаборов сарматского водоносного горизонта в Молдавии в связи с происходящим там изменением общего химического состава подземных вод в условиях нарушенного эксплуатацией режима. Прогноз был подтвержден режимными наблюдениями.

Разумеется, что рассмотренный метод прогнозирования химического состава подземных вод не устраняет другие методы прогнозирования и не является их конкурентом. Он является дополняющим их, так как, основываясь на современных научных представлениях о физико-химии взаимодействий в системе "вода—порода", он позволяет прогнозировать явления, ранее не поддававшиеся моделированию и прогнозированию. Разработка методов прогнозирования химических свойств и качества подземных вод при заданных темпах водоотбора — важнейшая задача современной теоретической и прикладной гидрогеологии. Совершенно очевидно, что такие методы должны развиваться с широким привлечением достижений и методов геохимии подземных вод, физико-химической термодинамики и кинетики, синтез которых позволяет создать правдоподобные модели реальных гидрогеохимических процессов.

А B S T R A C T

The forecasting of the chemical composition of natural waters has become possible due to our growing knowledge on the existence and the forms of transportation of chemical elements in ground waters and the forms of

their participation in hydrochemical processes. The solubility of the solids in solutions of other substances in the result of complex solute formation. On the basis of thermodynamics (Z. Gibbs) we could determine the equilibrium composition of any multicomponent system in any state. The creation of algorithms (H. Helgeson, I. Karpov, Z. Shwarov) made it possible to apply thermodynamics to natural systems with a great number of phases. The calculation of equilibrium composition is computer-made and is based on the search for the Gibbs' energy minimum value of the system.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ильянов Б.С., Гоникберг М.Г.* Расчет констант диссоциации слабых электролитов при высоких давлениях. — ЖФХ, 1972, вып. 46, № 6.
2. *Карапетьянц М.Х.* Методы сравнительного расчета физико-химических свойств. М.: Наука, 1965.
3. *Карпов И.К., Киселев А.И., Летников Ф.А.* Моделирование природного минералообразования на ЭВМ. М.: Недра, 1976.
4. *Крайнов С.Р., Кирюхин В.К.* Состояние фтора в подземных водах с околонейтральной и щелочной реакцией. — Геохимия, 1978, № 1.
5. *Наумов Г.Б., Рыженко Б.Н., Ходаковский И.П.* Справочник термодинамических величин (для геологов). М.: Атомиздат, 1971.
6. Основные проблемы изучения и использования подземных вод. — В кн.: Вопросы региональной гидрогеологии и оценки ресурсов подземных вод. М.: ВСЕГИНГЕО, 1978, вып. 122.
7. *Рыженко Б.Н.* Основные закономерности термодинамики процесса электролитической диссоциации в высокотемпературных водных растворах. — Геохимия, 1974, № 8.
8. *Рыженко Б.Н.* Основные закономерности термодинамики электролитической диссоциации и растворимости в гидротермальных растворах: Автореф. докт. дис. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1977.
9. Термические константы веществ. М.: Наука, 1965—1975.
10. *Шваров Ю.В.* Расчет равновесного состава в многокомпонентной гетерогенной системе. — Докл. АН СССР, 1976, т. 229, № 5.
11. *Helgeson H.* Thermodynamics of hydrothermal systems of elevated temperatures and pressures. — Amer. J. Sci., 1969, vol. 267, N 7.
12. *Sillen L., Martell A.* Stability constants of metal complexes. London, 1964.
13. *Smith R., Martell A.* Critical stability constants. London, 1977, vol. 4.

УДК 556.314

С.Л. ШВАРЦЕВ

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ПОРОДАХ

До последнего времени алюмосиликатным горным породам отводилась незначительная роль в формировании химического состава подземных вод. Такое положение связано, по крайней мере, с двумя обстоятельствами: реакции между водой и алюмосиликатами считались слишком медленными, и слоистые алюмосиликаты рассматривались исключительно как объект ионно-обменных реакций, без достаточного учета масштабов их

минеральных трансформаций. В последние 10—15 лет под влиянием экспериментальных работ, новых методов исследований и детального изучения химического состава подземных вод в алюмосиликатных породах обстановка стала существенно изменяться. Это позволило Р. Гаррелсу и Ф. Маккензи [2] заключить, что "силикатные минералы принадлежат к категории быстро реагирующих фаз, контролирующих составы природных вод" (с. 126).

Данное обстоятельство послужило основой для проведения экспериментов по термодинамическому моделированию системы "вода—алюмосиликаты" с целью установления последовательности образования вторичных минералов и масштабов концентрирования химических элементов в растворе [3]. В результате были изучены многие ранее неизвестные механизмы взаимодействия воды с горными породами, но лабораторное моделирование не вскрывает всей сложности развития природных систем и требует проведения специальных гидрогеохимических исследований применительно к конкретным условиям [7, 8].

В последние годы нами было изучено влияние алюмосиликатных пород на состав подземных вод зоны гипергенеза [6], которое позволило установить равновесно-неравновесный характер взаимодействия воды с горными породами, вскрыть природу неравновесного состояния системы "вода—эндогенные алюмосиликаты", найти соотношение между характером вторичных образований и степенью концентрирования химических элементов в водах, наметить основные черты эволюции состава последних.

Многие из вскрытых нами особенностей влияния алюмосиликатных пород на состав подземных вод, как показали дальнейшие исследования, имеют значение не только для вод зоны гипергенеза, но и для подземных вод в целом.

Инконгруэнтный характер растворения алюмосиликатов приводит к образованию в результате реакции гидролиза вторичных минералов (глин, цеолитов), которые менее растворимы, чем первичные (эндогенные) алюмосиликаты. При своем образовании вторичные продукты связывают ион водорода и тем самым создают в растворе повышенную щелочность. Последняя в реальных природных условиях нейтрализуется образующимися в ходе других процессов органическими и минеральными кислотами. Часть продуктов гидролиза выносится подземными водами из зоны протекания реакции. Все это определяет принципиальную неравновесность системы "вода— CO_2 —эндогенные алюмосиликаты" не только в зоне гипергенеза, но и более глубоких частях земной коры.

Неравновесность рассматриваемой системы подтверждается как результатами термодинамического изучения степени насыщенности артезианских вод относительно водовмещающих алюмосиликатов [5], так и данными геологических наблюдений.

Известны факты преобразования алюмосиликатов в коре выветривания, гидротермальных системах, водоносных горизонтах артезианских бассейнов (образование аутигенных глин и карбонатов), т.е. везде, где имеются вода, углекислый газ и первичные алюмосиликаты, а не только в условиях активного водообмена.

Термодинамическая неравновесность воды с алюмосиликатами приводит к медленному, но постоянному в геологическом аспекте времени их растворению и образованию вторичных минералов в соответствии с характером геохимической среды. При этом в растворе концентрируются подвижные катионы и гидрокарбонат-ион. Одновременно возрастает значение рН вод, что автоматически приводит к уменьшению растворимости в воде карбонатов. На определенном этапе эволюции системы "вода—первичные алюмосиликаты" происходит насыщение раствора относительно прежде всего кальцита, который, осаждаясь, связывает кальций, углекислый газ и ион кислорода, заимствованный из воды. С этого момента в результате гидролиза алюмосиликатов образуются не только глины, но и кальцит. В дальнейшем возможно образование также доломита, магнезита и других карбонатов, а также сульфатов, хлоридов и т.д. Тем самым обеспечивается удаление из раствора подвижных катионов, хотя система "вода—первичные алюмосиликаты" остается неравновесной.

Следовательно, полную реакцию гидролиза алюмосиликатов можно записать в следующем виде: эндогенные алюмосиликаты + вода + CO_2 → глины* + карбонаты. Реакция гидролиза в верхней части земной коры (зоны гипергенеза, эпигенеза, диагенеза и раннего катагенеза) протекает слева направо и приводит к непрерывному химическому разрушению одних минералов и образованию вторых, устойчивых в водной среде. Поэтому систему "вода—первичные алюмосиликаты" необходимо рассматривать как обменную, в которой химические элементы, выщелачиваемые из эндогенных алюмосиликатов, переходя в раствор и накапливаясь в нем, достигают предела своего концентрирования в соответствии с химическими их свойствами и осаждаются в форме вторичных минералов того или иного состава в зависимости от характера геохимической среды. При этом в твердой фазе вначале связываются малоподвижные элементы, а затем, по мере того как концентрация раствора возрастает, все более подвижные элементы также вовлекаются в процессе осаждения аналогично тому, как это происходит при испарительном концентрировании солей.

Другая важная особенность рассматриваемой системы состоит в том, что разрушение алюмосиликатов сопровождается ступенчатым разложением молекул воды на ионы, которые связываются глинами (H^+) и карбонатами (O^{2-}). Механизм ионного разложения воды нами рассмотрен в другой работе [5], поэтому здесь лишь подчеркнем, что он складывается из нескольких этапов: диссоциации воды, гидролиза реакции нейтрализации с образованием иона HCO_3^- , диссоциации последнего на H^+ и CO_3^{2-} , связывания ионов H^+ глинистыми минералами, а CO_3^{2-} — карбонатами.

Масштабы ионного разложения воды в каждом конкретном случае определяются объемом растворяемой породы и оказываются небольшими. Но важно то, что такое разложение имеет место в течение всего времени нахождения воды на контакте с алюмосиликатами, т.е. протекает

* При высоких температурах вместо глин образуются цеолиты.

в ходе всех этапов геологического круговорота, начиная от стадии выветривания и кончая стадией метаморфизма и поступления возрожденных вод на дневную поверхность. Поэтому масштабы ионного разложения воды оказываются исключительно большими и не учитывать их невозможно [4].

Все сказанное показывает, что нельзя алюмосиликатные горные породы рассматривать только как аккумуляторы подземных вод или как транспортную среду последних, а необходимо учитывать их способность к химическому разложению воды на ионы и связыванию последних. Точно так же, как на поверхности Земли вода образует новые состояния в результате испарения или промораживания, в недрах Земли ее трансформация связана с химическим разложением. И это обстоятельство должно учитываться при изучении формирования химического состава всех подземных вод и в первую очередь седиментационных и возрожденных.

Среди образуемых в результате гидролиза продуктов особая роль принадлежит глинистым минералам, которые, кроме иона водорода, связывают большое (до 25%) количество свободной воды и тем самым изменяют ее физико-химические свойства и термодинамическую устойчивость [1, 4]. Перенесенные с континента и захороненные в бассейнах седиментации глинистые минералы не остаются неизменными, а подвергаются глубокой кристаллохимической трансформации, сопровождающейся дальнейшим ионным разложением и связыванием молекул воды. Это обстоятельство должно учитываться при расчете количества отжимаемой из глин воды при их уплотнении.

Рассмотренные особенности взаимодействия воды с алюмосиликатами делают эту систему одной из наиболее важных в земной коре, эволюция которой приводит к концентрированию элементов в растворе за счет двух одновременно протекающих процессов: выщелачивания их из разрушающихся пород и концентрирования вследствие уменьшающегося объема самой воды. Поэтому по мере увеличения глубины залегания подземных вод, уменьшения интенсивности водообмена и увеличения времени взаимодействия растворов с горными породами растет их общая минерализация. Этим, по нашему мнению, можно объяснить характер гидрогеохимической зональности земной коры, связанный с увеличением солености подземных вод с глубиной независимо от характера геологической структуры. Естественно, что при этом должен учитываться генетический облик подземных вод, их возраст и степень взаимодействия с алюмосиликатами.

Другим важным следствием рассматриваемых процессов может быть накопление избыточных, относительно исходного состава воды, химических элементов в растворе. Дело в том, что подземные воды, постоянно разрушая одни минералы и формируя другие, связывают химические элементы в совершенно иных относительно исходных пород соотношениях. Тем самым появляется возможность накопления одних элементов в большей мере, чем других. Неравномерным концентрированием химических элементов в подземных водах объясняется и отсутствие в большинстве случаев тесной связи между составом воды и водовмещающими горными породами. Это различие тем больше, чем более длительным

оказывается взаимодействие воды с горными породами. Поэтому состав даже инфильтрационных вод, которые прошли длительный этап взаимодействия с алюмосиликатами (например, термальные воды горно-складчатых областей), всегда отличается от состава водовмещающих пород. В таких водах в избыточном количестве оказываются те элементы, которые по своим свойствам и характеру геохимической среды способны к концентрированию в растворе.

Нельзя не отметить и то обстоятельство, что состав подземных вод в пределах алюмосиликатных пород строго связан с составом вторичных минералов, так как в воде накапливаются только те элементы, которые не связываются образующейся при этом твердой фазой. Образование вторичных продуктов и состава вод — это две стороны одного и того же процесса, связанного с постоянным растворением одних элементов и образованием других.

Все изложенное позволяет заключить, что без учета отмеченных особенностей взаимодействия воды с алюмосиликатами проблемы формирования и эволюции химического состава подземных вод не могут быть решены.

АБСТРАКТ

On the basis of generalization of considerable hydrogeochemical material and thermodynamic analysis of the system "water — CO₂ — aluminosilicates" the chemical nature of non-equilibrium of water with endogenic rocks is shown. It determines a principal possibility of soluting aluminosilicates containing water. This leads to the exchangeable character of the "water — rocks" system and to constant concentration of flexible elements in this solution. In the course of geological evolution of the "water — rocks" system rocks change the character of geochemical environment, the composition of secondary formations and consequently, the composition of the ground water.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блох А.М. Структура воды и геологические процессы. М.: Недра, 1969.
2. Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. М.: Мир, 1974.
3. Кашик С.А., Карпов И.К. Физико-химическая теория образования зональности в коре выветривания. Новосибирск: Наука, 1978.
4. Шварцев С.Л. Разложение и синтез воды в процессе литогенеза. — Геология и геофизика, 1975, № 5.
5. Шварцев С.Л. Механизм химического разложения воды при ее взаимодействии с алюмосиликатами. Докл. АН СССР, 1976, т. 229, № 2.
6. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1978.
7. Fritz B. Étude thermodynamique et simulation des réactions entre minéraux et solution. Application à la géochimie des altérations et des eaux continentales. Strasbourg, 1975.
8. Garrels R.M. A survey of low temperature water — mineral relations. — In: Interpretation of Environmental Isotopes and Hydrochemistry. Data Ground Water. Vienna, 1976.

Б.А. КОЛОТОВ

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ранее показано, что в водах рудных, прежде всего сульфидных и урановых, месторождений формируются водные ореолы рассеяния таких халькофильных и радиоактивных элементов, как Zn, Cu, Pb, As, Mo, U, которые могут быть использованы для поисков рудных месторождений путем анализа природных вод на эти элементы. Однако влияние рудных месторождений (или других природных объектов) на состав вод следует понимать более широко, чем просто проявление водных ореолов рассеяния отдельных, характерных для руд элементов. Взаимодействие месторождений с природными водами приводит к формированию в водах сложно построенного гидрогеохимического поля, в котором участ-

Таблица 1

Характеристика гидрогеохимических полей некоторых типов рудных

Примеры рудных месторождений		Комплекс элементов в гидрогео	
		Комплекс литофильных элементов	Специфические литофильные элементы в ГП
Магматические	ликвационные	$\underline{\underline{\text{Al Ti V Ga}}}$	$\underline{\underline{\text{Cr Mn}}}$
	позднемагматические	$\underline{\underline{\text{Al Ti V Ga}}}$	$\underline{\text{Y}} \underline{\text{Yb}} \underline{\text{Ce}} \underline{\text{La}}$
Гидротермальные	Плутонические	кварцевый	$\underline{\underline{\text{Al Ti V Ga}}}$ $\underline{\text{Be}} \underline{\text{Zr}} \underline{\text{Sn}} \underline{\text{Si}}$
		сульфидный	пространственно разобщены с ГП рудного месторождения
		карбонатный	"
	Вулканогенные	золото-серебряные в кислых эффузивах	$\underline{\underline{\text{Al Ti V Ga}}}$ $\text{Be} \underline{\text{Y}} \underline{\text{Yb}} \underline{\text{Zr}}$

Примечание: Концентрации в водах (мкг/л): $\underline{\underline{\text{Al}}}$ — $n \cdot 10^3$ и более; $\underline{\underline{\text{Cu}}}$ — $n \cdot 10^2$; $\underline{\text{Ce}}$ — $n \div n \cdot 10$; прочие — $n \cdot 10^{-1}$ и менее, где $n = 1 \div 9$.

вуют все химические элементы, претерпевшие перераспределение, как при рудообразовании (становление интрузии, образование гидротермально измененных пород, руд и их первичного ореола), так и при последующем гипергенном изменении рудных тел и вмещающих пород.

Гидрогеохимическое поле — это поле концентраций химических компонентов в гидросфере, возникающее при взаимном влиянии природного объекта (в разбираемом случае любого геологического тела) и природной воды. Оно изменяется во времени и пространстве и имеет структуру, определяемую: комплексом элементов химического состава вод, которые формируют гидрогеохимическое поле; концентрациями компонентов в водах и распределениями этих концентраций в пределах поля; формами существования химических элементов в гидрогеохимическом поле; взаимоотношениями компонентов между собой в процессе существования поля.

Руды вместе с первичным ореолом рассеяния и сопровождающими их гидротермально измененными породами формируют в водах до нескольких десятков аномальных характеристик (табл. 1, 2). Элементы,

месторождений

химических полях (ГП) в аномальных количествах					рН
Комплекс халькофильных элементов	Элементы, подчеркивающие специфику месторождений	Щелочные и щелочно-земельные элементы	Галогены		
<u>Zn</u> <u>Cu</u> <u>As</u> <u>Fe</u> <u>S</u>	<u>Co</u> <u>Ni</u>	<u>Mg</u>	—	2,0—5,0	
<u>Zn</u> <u>Cu</u> <u>Fe</u> <u>S</u>	<u>Nb</u>	<u>Na</u> <u>K</u>	<u>F</u> <u>Cl</u>	7,5—12,0	
<u>Zn</u> <u>Cu</u> <u>As</u>	<u>Mo</u> <u>W</u> <u>U</u> <u>Au</u> <u>Li</u> <u>Sn</u>	<u>Na</u>	<u>F</u> <u>Cl</u>	6,5—7,3	
<u>Zn</u> <u>Cu</u> <u>As</u> <u>Fe</u> <u>S</u>	<u>Cd</u> <u>Ag</u> <u>Au</u> <u>Sb</u> <u>Sn</u>	—	—	3,0—5,0	
<u>Zn</u> <u>Cu</u>	—	<u>Ca</u> <u>Mg</u>	—	7,3—8,0	
<u>Zn</u> <u>Cu</u> <u>As</u> <u>Fe</u> <u>S</u>	<u>Au</u> <u>Ag</u>	<u>K</u>	—	3,5—5,5	

составляющие гидрогеохимическое поле, могут повторяться как для любого месторождения, либо широкой их группы (Zn, Cu или Li, F, Be), так и присутствовать в гидрогеохимическом поле конкретного типа, подчеркивая его специфику (Au, Nb, U и др.). Это свойство общности и специфичности гидрогеохимического поля имеет важное прикладное значение, позволяя разработать методику его поиска и картирования с использованием основ теории информации [2].

Как показывают исследования, широкий комплекс элементов одного и того же гидрогеохимического поля часто включает весьма разнородные с геохимической точки зрения элементы. Наиболее четко проявляются три группы элементов — халькофильные, литофильные и сидерофильные, проявляющиеся в разной степени, в зависимости от прохождения конкретных процессов (см. табл. 1).

Концентрации различных элементов в водах рудных месторождений приводятся во многих работах, здесь мы хотим указать на определяющую роль в геохимическом облике поля контрастностей, т.е. превышений концентраций над фоном (см. табл. 1). Именно контрастности определяют аномальность поля, а следовательно, несут основную информацию о процессах его формирования и возможностях его влияния. Направленность процессов в гидрогеохимическом поле удобно показать в координатах Eh—pH.

Например, в гидрогеохимическом поле золото-серебряных месторождений (pH—7,5 ÷ 4,5; Eh — 250 ÷ 350 мв) золото, мигрирующее в анионных комплексах, будет покидать воды при pH ниже 5,5, осаждаясь на взвешях и коллоидах [3].

Каждый элемент формирует в природных растворах несколько видов комплексных ионов как с неорганическими, так и с органическими лигандами [1]. Формы миграции элемента в водах зависят от типа объекта, из чего следует весьма важный вывод о том, что существуют формы миграции, отражающие специфику конкретного объекта [4], а в частном случае отличающие рудный объект ("рудные" формы, табл. 2).

Наиболее характерными взаимоотношениями элементов в гидрогеохимическом поле являются пропорциональные изменения концентраций, выявляемые обычно с помощью корреляционного анализа или парных отношений.

При этом же определяются парагенетические ассоциации (группы) элементов с близкой историей существования в водах. Например, из литофильных элементов в водах выделена универсальная группа элементов-комплексобразователей середины Периодической системы (Al, Ti, V, Ga), формирующая гидрогеохимические поля в местах любого перераспределения литофильных элементов в приповерхностной зоне земной коры.

Важное экологическое значение избытка или дефицита многих элементов известно давно, но в связи с распространением гидрогеохимических полей оно почти не изучено. Вместо с тем широкое развитие гидрогеохимических полей, интенсивное освоение и заселение рудных районов ставит вопросы экологического воздействия этих полей в ряд важнейших. В связи с идеей о специфических формах миграции элементов рудных

Таблица 2

Формы миграции элементов в гидрогеохимических полях (расчетные данные)

Объекты исследования		Компоненты химического состава					
		Cu	Zn	Ag	Be	Sn	Al
Месторождения	Сульфидные интенсивно окисляющиеся	CuSO_4^0	ZnSO_4^0	AgCl_2^- AgSO_4^- AgCl^0	Be^{2+}	Sn^{4+} SnO^{2+}	AlSO_4^+
	Сульфидные слабо окисляющиеся	CuSO_4^0 Cu^{2+}	ZnSO_4^0 Zn^{2+}	AgCl_2^- Ag^+	Be^{2+}	Sn^{4+}	AlSO_4^+
	Редкометалльные с сульфидами	CuHCO_3^+ Cu^{2+} CuSO_4^0	Zn^{2+} ZnSO_4^0 ZnHCO_3^+	AgCl_2^- Ag^+ AgCl^0	BeF^+ BeF_2^0	SnOH^{3+} SnF^{3+}	AlF^{2+} H_2AlO_3^- AlSO_4^+
	Редкометалльные в гранитоидах	CuHCO_3^+ CuCO_3^0 Cu^{2+}	Zn^{2+} ZnHCO_3^+ ZnCO_3^0	Ag^+ AgCl^0	BeF^+ BeF_2^0	SnOH^{3+} SnF^{3+}	H_2AlO_3^-
	Редкометалльные в карбонатных породах	CuCO_3^0 CuHCO_3^+	ZnCO_3^0 Zn^{2+} ZnHCO_3^+	Ag^+ AgCl^0	BeF^+ BeOH^+ BeF_2^0	SnOH^{3+} Sn(OH)_2^{2+} $\text{Sn(OH)}_3\text{CO}_3^-$	H_2AlO_3^-
	Редкометалльные в щелочных алюмосиликатах	HCuO_2^- $\text{Cu(CO}_3)_2^{2-}$ Cu(OH)_3^-	HZnO_2^- ZnCO_3^0 ZnO_2^{2-}	AgCl^0 Ag^+	BeO_2^{2-}	Sn(OH)_6^{2-} SnF_6^{2-}	AlO_2^-
	Минеральные и термальные источники	Углекислые (типа Арзни)	CuHCO_3^+ CuCO_3^0	ZnHCO_3^+ Zn^{2+} ZnCO_3^0	AgCl_2^-	BeOH^+ BeHCO_3^+ Be^{2+}	SnOH^{3+}
Сероводородные (типа Мацеста, Шемахи)		Cu(HS)_3^-	Zn(HS)_3^-	Ag(HS)_2^- AgHS^0	Be(OH)_2^0 Be(OH)^+	SnOH^{3+}	H_2AlO_3^+
Фумарольные воды хлоридного типа (вулкан Эбеко и др.)		CuSO_4^0 CuCl^+ Cu^{2+}	ZnSO_4^0 ZnCl^+ Zn^{2+}	AgCl_4^{3-} AgCl_2^-	Be^{2+}	Sn^+	AlSO_4^+

объектов представляется, что при рассмотрении вопросов загрязнения гидросферы необходимо учитывать прежде всего формы существования элементов в водах, одни из которых будут безвредными для функционирования организмов, другие, наоборот, — вредными.

АБСТРАКТ

The effect of ore deposits or other geological bodies on the composition of natural waters should be understood more extensively than the only manifestation of water dispersion haloes of some elements typical of ores. The interaction of geological bodies with natural waters leads to the formation of a composite—formed hydrogeochemical field in waters in which all the chemical elements undergone the redistribution both in the ore formation and the following hypergene change in ore bodies and enclosing rocks take part. Of particular interest is the group of lithophylic elements such as Al, Ti, V, Ga participating in the hydrogeochemical fields of the deposits closely connected with the magmatic activity.

A hydrogeochemical field is affected in time and in space and has a structure determined by a complex of elements and their concentrations in waters, the form of the element migration, the interrelations between the elements in the existing process of the field.

A study of hydrogeochemical fields is of great practical value both from the standpoint of mapping geological bodies and the ecologic action of these fields.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусиловский С.А. О миграционных формах редких элементов в природных водах. — В кн.: Гидрохимические материалы. Новочеркасск, 1963, т. 35.
2. Колотов Б.А. Информационные меры, как основа для создания рациональной методики гидрогеохимических поисков. — В кн.: Вопросы гидрогеохимии. М., 1973. Тр. ВСЕГИНГЕО, сер. 218, вып. 63.
3. Колотов Б.А. Кислый сорбционный барьер для золота в зоне окисления. — Геохимия, 1976, № 10.
4. Колотов Б.А., Эленбоген А.М. О специфике форм миграции микроэлементов в подземных водах. — Докл. АН СССР, 1974, т. 216, № 1.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 624.131:502.76

Е.М. СЕРГЕЕВ

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Сто с лишним лет назад выдающийся исследователь Ч. Лайель писал: "Если бы все живущие на земле народы попытались выломать лаву, вытекающую в течение одного извержения из исландских вулканов в 1783 году и в течение двух следующих лет, и попробовали бы перенести ее в глубочайшие пучины океана, то они проработали бы несколько тысячелетий и не выполнили бы этой задачи... Так ничтожны силы всего человечества в сравнении с обычными отправлениями водяных или огневых деятелей в естественном мире" [8]. В то время трудно было себе представить, что человек станет геологической силой, которую можно и нужно будет сравнить по интенсивности и характеру ее воздействия на литосферу с природными геологическими процессами.

Первый, кто четко сформулировал это положение, был В.И. Вернадский [3]. По его представлениям, среди различных геосфер Земли и, в первую очередь, в биосфере должна особо выделяться та приповерхностная часть (оболочка) земной коры, в которой сказывается влияние деятельности человека на геологические процессы, в которой развиваются процессы геотехногенеза. Эту оболочку академик В.И. Вернадский в свое время назвал "ноосферой" — "сферой разума". "Ноосфера, писал В.И. Вернадский, — есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше. Перед ним открываются все более и более широкие творческие возможности . . . Меняется лик Земли, исчезает девственная природа".

Прошло 35 лет с момента этого замечательного научного предвиденья В.И. Вернадского, и сейчас можно сказать, что оно сбылось: человек стал крупнейшей геологической силой. В наше время возводятся уникальные жилые и промышленные здания, возникают сложные гидротехнические и дорожные сооружения, огромные площади охватываются мелиоративными работами, создаются искусственные подземные нефте-, газо- и водохранилища, разрабатываются полезные ископаемые откры-

тым способом в котлованах, которые имеют площади в десятки квадратных километров и глубины в сотни метров, идет массовое захоронение и складирование промышленных отходов. Влияние человека на литосферу стало не меньше, чем его влияние на атмосферу, гидросферу и биосферу. Это влияние может быть различным как по своему характеру, так и по масштабам.

Основное воздействие на литосферу человек оказывает при добыче полезных ископаемых, при различных видах строительства, в результате промышленной деятельности и сельскохозяйственного производства.

Деятельность людей, связанная с горными и строительными работами, по своим масштабам соизмерима с денудационной работой рек. На поверхности Земли оказываются кубокилометры отвалов пород, ничего общего не имеющих с современным четвертичным покровом. По данным А.М. Рябчикова [10], производственная деятельность людей приводит к ежегодному перемещению $10\,000\text{ км}^3$ вещества. Для того, чтобы понять масштаб этого явления, достаточно вспомнить один из наиболее грандиозных оползней в мире, произошедший в 1911 г. на Памире в долине реки Мургаб, в результате которого образовался Усойский завал и возникло Сарезское озеро длиной 80 км и объемом $2,2\text{ км}^3$. Человечество ежегодно перемещает объемы горных пород в 5000 раз больше, чем объем Усойского завала.

Широко известно активное проникновение человека в земную кору, которое происходит при ведении горных работ и добыче полезных ископаемых. На заре развития промышленности добыча минерального сырья ограничивалась только извлечением полезных ископаемых, выходящих на поверхность или залегающих вблизи нее. Теперь человек, проходя шахты и другие подземные горные выработки, все более проникает в нижние горизонты земной коры на большие глубины. В Европе, где в отдельных странах добыча руды ведется еще со средних веков, некоторые рудники (например, полиметаллический рудник Пшибрам в Чехословакии) достигли глубины 1500 м от поверхности земли. В ГДР, ФРГ, Бельгии уголь добывается с горизонтов ниже 1300 м. В Индии и Южной Африке золотые рудники углубились уже более чем на 3,5 км (3950 м — в Южной Африке, 3800 м — в Индии). В Донбассе коксующийся уголь добывается на глубинах до 1000 м и проектируется добыча с еще больших глубин. Конечно, такие глубины для горных предприятий еще редки, и пока горной промышленностью наиболее освоена глубина до 500 м. Но неуклонна тенденция к все большему и во все возрастающих масштабах проникновению в недра нашей планеты.

Наряду с подземными горными работами в последнее время усиленно развиваются открытые, глубина которых быстро возрастает, и захватывают значительные площади. Например, угольный разрез Коркино на Урале проектируется до глубины 520 м. Сарбайский железорудный карьер в Казахстане запроектирован до глубины 450 м, а разработка руды на горе Благодать на Урале ведется уже на глубине 800 м.

На еще большие глубины человек проник буровыми скважинами. В СССР самая глубокая скважина, бурящаяся на Кольском полуострове,

достигла глубины более 9 км. Для достижения глубоких горизонтов земной коры проектируется бурение скважин до 15 км.

Прежде горные работы носили локальный характер, и влияние их на окружающую местность было небольшим. В связи с развитием горных работ влияние их на земную кору все более возрастает и во многих горнодобывающих бассейнах приобретает региональный характер. Донбасс, Подмосковский угольный бассейн, Кузбасс, Рудный Алтай — это районы, где горные работы захватывают площади, измеряемые тысячами квадратных километров. Извлекаемые из недр горные массы настолько велики, что меняют природные пейзажи и создают новые горнопромышленные ландшафты.

Известен своеобразный горнорудный ландшафт Донбасса, Кузбасса, Кривого Рога, Курской магнитной аномалии, Урала, Хибин и других рудных районов. Для этих районов прежде всего характерно накопление на поверхности Земли огромного количества отвалов механически раздробленных горных пород, в разной степени подверженных перемещению ветром, водой и гравитационными силами.

В работе К.В. Гладких [5] приводятся справедливые слова И.П. Бардина: "Шлаки — это сотни миллионов рублей, это тысячи новых домов, это база для дальнейшего строительства". В настоящее время площадь Земли, занятая под жилые застройки и другие инженерные сооружения, составляет 4% суши, а к 2000 г. эта площадь будет занимать около 15% суши.

Особая роль принадлежит городам, где к концу XX в. предположительно будет жить более половины населения планеты. Город — это территория, где воздействие человека на поверхностную часть земной коры наиболее интенсивно и разнообразно. В частности, интенсивная откачка подземных вод для целей водоснабжения способствует возникновению почти во всех крупных городах больших депрессионных воронок (в Лондоне, Москве, Париже и др.), что приводит к изменению характера циркуляции подземных и поверхностных вод.

В том случае, если территория города находится в пределах артезианского бассейна, а четвертичные отложения, являющиеся основанием для зданий и других сооружений, залегают на закарстованных карбонатных породах, движение воды сверху вниз, возникающее в результате образовавшейся депрессионной воронки, может привести к вымыву заполнителя из древних карстовых полостей, к оживлению суффозионно-карстовых процессов, в результате чего на поверхности возникают явления проседания и даже провального характера, которые приводят к деформации и разрушению построенных сооружений.

В отдельных случаях отмечается значительное опускание самой территории, занятой городом. Ю.Д. Буланже и А.А. Никонов [2] на основании анализа данных повторных геодезических наблюдений установили, что территория г. Таллина опускается со скоростью 10–30 мм/год на общем фоне поднятия Северной Эстонии.

Застройка территории сама по себе нарушает нормальный обмен между атмосферой и литосферой. Это, в частности, ведет к подъему уровня

грунтовых вод, к увеличению естественной влажности горных пород, являющихся основанием для инженерных сооружений. В том случае, если в основании находятся глины, способные к сильному набуханию, или лессы, обладающие значительной просадкой, также могут возникнуть деформация и разрушение зданий.

Большое влияние человек оказывает на литосферу при линейных видах строительства. Общая протяженность железнодорожной сети мира составляет около 1 400 тыс. км. Породы, положенные в насыпи железных и шоссейных дорог, сопоставимы с современными отложениями рек.

Огромное влияние на земную поверхность оказывает сельское хозяйство. Ежегодно путем перепашки полей человечество переворачивает и разрыхляет до 30 см верхнего слоя земли, что составляет несколько тысяч кубических километров грунта. Эти разрыхленные массы более подвержены золотым процессам и вообще эрозии, чем целинные почвы. Чтобы представить себе грандиозность этих процессов, приведем только один пример: пыльная буря 11 мая 1934 г. в штатах. Иллинойс, Огайо, Мэриленд и Северная Каролина в США унесла плодородную почву с 300 млн. га, при этом полностью погибло 45 млн. га пахотной земли и столько же оказалось под угрозой уничтожения. Освоение целинных земель в Казахстане в ряде случаев также вызвало местами дефляцию почвенного покрова. Интенсификация сельского хозяйства привела к усиленному гидромелиоративному и гидротехническому строительству.

Мелиоративное и ирригационное строительство захватывает массивы в десятки, даже сотни квадратных километров. Площадь орошаемых земель к концу нашего века во всем мире, по-видимому, достигнет 200 млн. га. Не меньшая площадь подвергнется осушению. На этих площадях человек коренным образом меняет водный режим и состояние почв и горных пород, слагающих поверхностную часть Земли.

Протяженность берегов искусственных водохранилищ, построенных человеком на Земле, к 1970 г. достигла 35 тыс. км. Можно думать, что сейчас протяженность берегов искусственных водохранилищ превышает величину земного экватора. На всем этом протяжении идет интенсивная переработка берегов, образуются оползни, происходят процессы засоления и заболачивания.

Длина оросительных магистральных каналов СССР превышает 300 тыс. км, что составляет более 3/4 расстояния между Землей и Луной.

Из рассмотренного материала можно сделать ряд выводов. Один из них заключается в том, что воздействие человека на литосферу по мере развития научно-технического прогресса становится все более разнообразным и интенсивным. Человек все глубже проникает в литосферу, все в более сложных природных условиях возводит различные инженерные сооружения.

Под влиянием человека оказывается значительная часть литосферы, составляющая поверхность суши. Если раньше преобладало локальное воздействие человека на литосферу, то в настоящее время его воздействие сравнимо с деятельностью природных геологических процессов и поэтому можно говорить о глобальном воздействии человека на литосферу.

Геологическая деятельность человека направлена на благо общества, но в результате ее часто возникают побочные вредные явления, которые наносят ущерб обществу, охране и рациональному использованию окружающей среды. Можно утверждать, что охрана и рациональное использование окружающей среды невозможны без разработки понятия о геологических основах охраны окружающей среды.

Понятие о том, что природные ресурсы это не только растительный и животный мир, почва, воды, минеральное сырье, но также сама земная кора как среда, в которой происходит жизнь и труд человека, как пространство с его положительными и отрицательными качествами, благоприятствующими или мешающими развитию человечества, было сформулировано еще в 1967 г. [12]. Само понятие окружающей среды связано с человеком, с деятельностью человека. Среда, окружающая человека, является предметом изучения географической науки, но последняя не может изучать изменения, происходящие под влиянием деятельности человека в литосфере. Один из компонентов окружающей среды — геологическую среду — должна изучать геологическая наука, конкретнее — инженерная геология.

Под геологической средой мы понимаем любые горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть земной коры, которые рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, в результате чего происходит изменение природных геологических процессов и возникновение новых антропогенных процессов, что вызывает изменение инженерно-геологических условий определенной территории.

Весь ход развития инженерной геологии, ее современное состояние подготовили ее для того, чтобы наряду с решением конкретных частных задач, которые ежедневно выдвигает перед ней жизнь, инженерная геология взяла на себя ответственность за решение проблем, вытекающих из самого определения геологической среды.

Инженерная геология в настоящее время представляет собой науку, широким фронтом изучающую литосферу в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. Горные породы, геологические процессы, геологические регионы и природные зоны — вот круг вопросов, которыми должна заниматься инженерная геология в связи с изучением геологической среды. В соответствии с этим инженерная геология имеет три основных раздела: грунтоведение, инженерную геодинамику, региональную инженерную геологию.

Грунтоведение можно определить как науку, изучающую любые горные породы и почвы как многокомпонентные динамические системы, изменяющиеся в связи с инженерной деятельностью человека.

Хорошо известно, что горные породы изучаются петрографией и литологией, но только грунтоведение подходит к ним как к многокомпонентным системам. Очень важно, что при этом сохраняется генетический подход, сформулированный М.М. Филатовым. В 1937 г. он писал, что 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 [14]. Это очень глубокая и принципиальная мысль.

В 30-х годах, когда в грунтоведении и механике грунтов изучались главным образом рыхлые осадочные породы, все внимание было обращено на зависимость их свойств от гранулометрического состава; при этом пытались установить постоянные "механические константы" для грунтов, разных по своей дисперсности. Такому подходу М.М. Филатов противопоставил генетический подход, в соответствии с которым свойства горных пород и почв (грунтов) определяются их генезисом и постгенетическими процессами.

Генетический подход при изучении грунтов является методологической основой грунтоведения, благодаря которой оно относится к наукам геологического цикла. Причем под генетическим подходом следует иметь в виду анализ геологической истории развития территории, сложенной изучаемыми горными породами для того, чтобы можно было понять, что испытала порода за период с момента своего формирования до наших дней.

При генезисе и под воздействием постгенетических процессов формируются состав горных пород (их многокомпонентность) и строение (структура и текстура). Говоря о многокомпонентности горных пород, мы имеем в виду минеральную часть горных пород, твердое органическое вещество, различные формы воды, существующие в горных породах, газы и живую компоненту, живые организмы, в первую очередь микроорганизмы.

Понятие о горных породах и почвах как многокомпонентных системах при изучении их в инженерно-геологических целях, т.е. при характеристике их как грунтов, необходимо потому, что поведение их под воздействием человека в первую очередь определяется происходящим изменением в соотношении компонент. Прочностные, деформационные, физико-химические и другие свойства пород зависят от соотношения в них твердой, жидкой, газовой и живой компонент.

Все современные геологические процессы, имеющие значение при оценке отдельных регионов в целях их народнохозяйственного освоения и при строительстве, и при создании крупных инженерных сооружений, а также древние геологические процессы, оказавшие определенное влияние на геологическое строение территории, изучаются инженерной геодинамикой.

Значение геологических процессов, протекающих и протекавших в поверхностной части земной коры и получивших название "экзогенных", очень большое в жизни нашей Земли. А.В. Сидоренко [12] так оценил значение изучения этих процессов с учетом деятельности человека: "Ныне внимание человечества обращено на освоение космоса. Одновременно геологи планируют проникновение в глубокие недра Земли для достижения так называемой верхней мантии. Бесспорно, что познание этого уровня земной коры будет иметь огромное значение для понимания многих геологических процессов, проходящих в земной коре, и, в первую оче-

редь, причин тектонических движений ее — ведущих 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”.

Примеров, которые показывают, какой огромный вред могут наносить экзогенные процессы, имеющие катастрофический характер, можно привести много. В этом нет необходимости, поскольку сообщения об этом публикуются, наверное, ежедневно, если взять все страны мира.

Поэтому главной проблемой инженерной геодинамики является количественный прогноз экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов в пространстве, во времени и по их интенсивности с целью предотвращения возникновения или уменьшения вредного влияния этих процессов.

Прогноз возникновения экзогенных геологических процессов в пространстве находится на достаточно высоком уровне, хуже обстоит дело с прогнозом по их интенсивности, и еще более сложным является прогноз возникновения процессов во времени. Между тем для рационального использования геологической среды необходимо научиться прогнозировать геологические процессы в пространстве, во времени и по их интенсивности. Это очень трудная и сложная задача. Она должна решаться с учетом самых разнообразных факторов и, в первую очередь, решена в отношении процессов, имеющих катастрофический характер, так как этого требуют интересы охраны и рационального использования окружающей среды.

Известно, что геологические процессы изучаются не только инженерной геодинамикой, но и динамической геологией. Это обстоятельство ни в какой степени не противопоставляет инженерную геодинамику динамической геологии, поскольку каждая из этих научных дисциплин изучает геологические процессы в своем аспекте. Динамическая геология изучает геологические процессы, протекающие в природе независимо от человека, и делает это для решения главным образом проблем общегеологического характера. Инженерная геодинамика изучает геологические процессы в связи с деятельностью человека. Помимо природных процессов, объектом ее изучения являются также процессы, возникающие под влиянием самого человека и получившие названия “инженерно-геологические” [7] или “антропогенные”. Поэтому понятие “геодинамическая обстановка” имеет различное значение в динамической геологии и инженерной геодинамике. В инженерной геодинамике под геодинамической обстановкой следует понимать совокупность геологических и инженерно-геологических процессов и порождаемых ими явлений.

Выше было показано, что с развитием научно-технического прогресса возрастает геологическая роль человека и увеличивается значение инженерно-геологических процессов и явлений в геодинамической обстановке.

В большинстве случаев подготовка к возникновению геологических процессов в природе происходит медленно, а при вмешательстве человека возникновение геологических процессов может происходить очень

быстро. В какой-то степени этим определяется и большая интенсивность инженерно-геологических процессов. Например, переработка берегов искусственных водохранилищ происходит более интенсивно, чем природных водоемов. О возможной интенсивности переработки берегов в созданных водохранилищах можно судить на примере Красноярского водохранилища. В пределах пятой террасы р. Енисея, сложенной лессами и мелкими песками, объем переработки за восьмилетний период (1967—1975 гг.) составил $15\ 000\ \text{м}^3$ на 1 пог. м берега.

Хорошо известно, что вред, наносимый селями, снежными лавинами и оползнями, будет возрастать, если при освоении новых, опасных в этом отношении районов человек будет бездумно нарушать сложившееся равновесие в природе. По данным мировой статистики до 70% оползней в той или иной степени связаны с инженерно-хозяйственной деятельностью человека [1].

Все говорит о том, что геологическая среда становится все в большей степени объектом изучения инженерной геодинамики. В этих условиях для прогноза возникновения и развития геологических и инженерно-геологических процессов особое значение приобретает сочетание натуральных наблюдений с разными видами моделирования.

Как бы ни были важны прогноз и изучение отдельных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений, еще более важное значение для разнообразной деятельности человека имеет оценка инженерно-геологических условий отдельных регионов. Это задача народнохозяйственного значения, так как современная деятельность человека способна изменить не только состояние геологической среды, но и всей природной обстановки на больших территориях. С этим связано бурное развитие в нашей стране за последние десятилетия региональной инженерной геологии, основной проблемой которой является познание закономерностей формирования инженерно-геологических условий крупных геологических регионов и прогноз их изменения под влиянием деятельности человека.

Впервые в нашей стране вышла в свет восьмитомная монография "Инженерная геология СССР", где для всех крупных геологических регионов Советского Союза рассматривается история формирования инженерно-геологических условий, проводится инженерно-геологическое районирование регионов и в соответствии с ним дается инженерно-геологическая характеристика выделенных единиц, учитывается опыт строительства и изменение природных условий под влиянием деятельности человека.

Возникновение и развитие региональной инженерной геологии оказалось возможным благодаря развитию ряда принципиальных положений. К числу таких принципиальных положений относятся понятия об инженерно-геологических условиях и факторах, их определяющих. Под инженерно-геологическими условиями понимаются: особенности геологического строения, горные породы, геологические и инженерно-геологические процессы, рельеф, гидрогеологические и геокриологические условия — все это тесно взаимосвязано между собой и все вместе взятое определяет степень сложности народнохозяйственного освоения территории.

Сейчас уже твердо установлено, что инженерно-геологические условия формируются под влиянием региональных [9, 4, 6] и зональных [9, 13]

инженерно-геологических факторов. Первые сформировались главным образом под влиянием эндогенных процессов, что нашло отражение в особенностях геолого-структурного строения территории. Вторые являются отражением природной климатической зональности, которая определяет тепло- и влагообеспеченность территории и тем самым характер преобладающих процессов.

Региональные и зональные инженерно-геологические факторы нельзя рассматривать изолированно друг от друга, так как обе эти группы определяются историей геологического развития территории. Региональные инженерно-геологические факторы формируются за несравнимо более длительное геологическое время по сравнению с зональными инженерно-геологическими факторами, которые определяют развитие территории в плейстоцене и голоцене.

Сейчас все большее значение приобретает инженерно-геологическое картирование всех масштабов, от мелкомасштабного до крупномасштабного. Существовавшая недооценка составления мелкомасштабных инженерно-геологических карт на крупные территории, имеющие большое народнохозяйственное значение, нанесла немалый вред нашей стране. Детальное инженерно-геологическое изучение отдельных строительных площадок, трасс, дорог и затопляемых водохранилищами территорий проводилось без знания общих закономерностей инженерно-геологических условий территорий, на которых они находятся, что приводило в ряде случаев к неоправданно завышенным объемам изыскательских работ. И еще более существенным является то обстоятельство, что такие работы могли лишь внести уточнения в уже принципиально принятые решения по строительству тех или иных объектов, а сами принципиальные решения принимались без достаточного знания и учета закономерностей инженерно-геологических условий. Наличие мелкомасштабных инженерно-геологических карт позволяет принимать правильные решения на самых первых стадиях любого проектирования.

Сейчас возникла необходимость в составлении специальных карт, которые дают возможность оценить (а в дальнейшем, наверное, с помощью их будет возможность и прогнозировать) изменение геологической среды под влиянием различной деятельности человека, в частности под влиянием горнодобывающей промышленности, мелиорации и гидротехнического строительства, градостроительства и дорожного строительства. Как первый опыт, такие карты составлены в масштабе 1 : 2 500 000 для Восточной Европы силами геологов Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Советского Союза и Чехословакии. Работы в этом направлении представляются перспективными [11].

Подводя итоги рассмотренному материалу, можно сказать, что интенсивное и разнообразное воздействие человека на литосферу в период научно-технического прогресса, когда человек стал крупнейшей геологической силой, породило понятие о геологической среде. Геологическая среда изучается инженерной геологией и как среда, состоящая из определенных горных пород, являющихся динамичными многокомпонентными системами, и как среда, в которой протекают геологические не только природные, но и антропогенные (инженерно-геологические) процессы.

При таком подходе к геологической среде становится возможным оценка крупных геологических регионов и отдельных территорий с точки зрения наиболее рационального их инженерно-хозяйственного освоения, с прогнозом возможного изменения геологической среды в их пределах.

А B S T R A C T

At present Man has become the greatest geological factor. The upper part of the Earth's crust affected by the man's activity has been called the geological environment.

By the geological environment we should understand any rocks and soils making up the upper portion of the Earth's crust and which are considered as the multi-component systems subjected to the impact of the engineering and economic activity of Man resulting in a change of natural geological processes and this, in turn, bring about a change in the engineering geological conditions of a particular territory. The study of geological environment is the subject of engineering geology as a science consisted of three principal parts: soil engineering — rocks and soils; engineering geodynamics — geological processes and regional engineering geology — territories. The preserving and rational exploitation of environment as a whole can be effective only under the wide and specialised investigation of geological environment.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Баландин Р.Г.* Геологическая деятельность человека. Минск: Высшая школа, 1978.
2. *Буланже Ю.Д., Никонов А.А.* Современные движения земной коры. — Вестник АН СССР, 1973, № 9.
3. *Вернадский В.И.* Несколько слов о ноосфере. — Успехи современной биологии, 1944, т. 18, вып. 2.
4. *Голодковская Г.А.* Роль тектоники и неоморфологии при инженерно-геологическом районировании. — В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. М.: Изд-во МГУ, 1963.
5. *Гладких К.В.* Шлаки — не отходы, а ценное сырье. М.: Стройруда, 1966.
6. *Ершова С.Б.* Анализ новейших движений при инженерно-геологическом районировании. М.: Изд-во МГУ, 1976.
7. *Каменский Г.Н.* Предмет инженерной геологии как науки. — Изв. АН СССР. Отд-ние мат. и естеств. наук, 1936, № 1.
8. *Лэйель Ч.* Основы геологии. М.: 1866.
9. *Попов И.В.* Инженерная геология СССР. М.: Изд-во МГУ, 1961. Ч. 1.
10. *Рябчиков А.М.* Структура и динамика геосферы, ее естественное развитие и изменение человеком. М.: Мысль, 1973.
11. *Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Терешков Г.М.* и др. Карты изменения геологической среды как основа региональных инженерно-геологических прогнозов. — Вестник МГУ. Геология, 1978, № 5.
12. *Сидоренко А.В.* Человек, техника, земля. М.: Знание, 1967.
13. *Трофимов В.Т.* Основные закономерности широтного (зонального) изменения инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. — В кн.: Природные условия Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1971, вып. 1.
14. *Филатов М.М.* Грунтоведение к 20-й годовщине Великой Октябрьской социалистической революции. — Почвоведение, 1937, № 9.

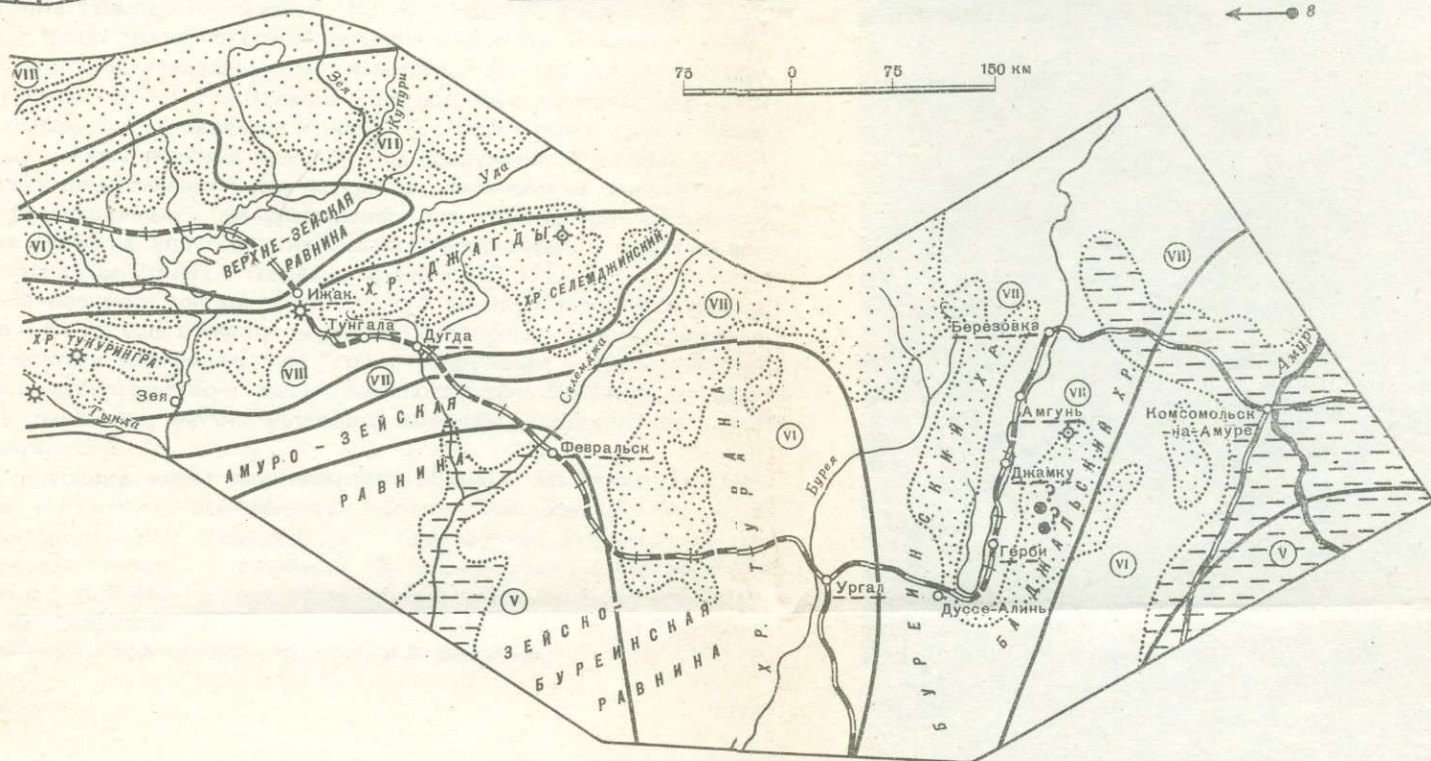
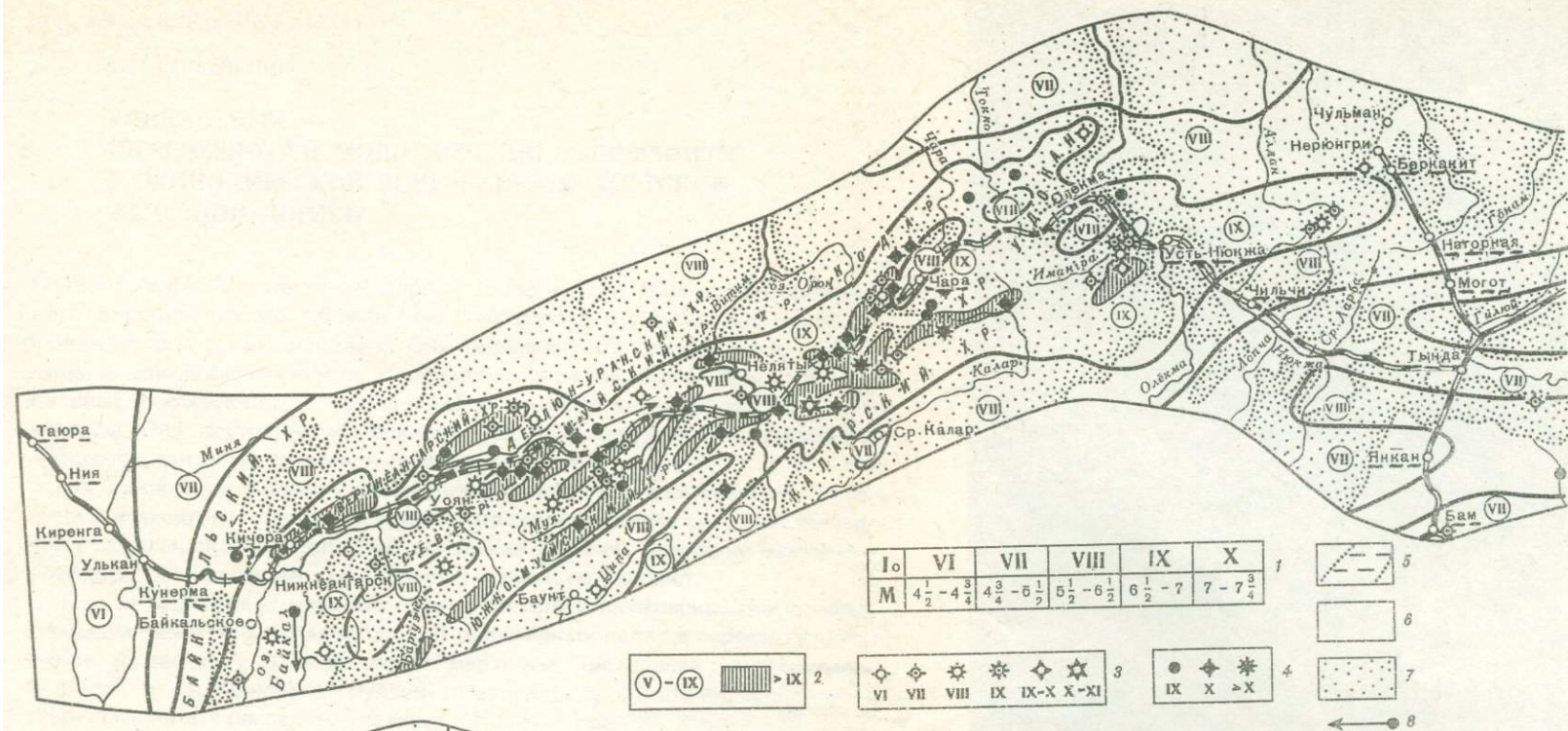


Рис. 1. Карта сейсмического районирования зоны экономического влияния Байкало-Амурской железной дороги (составили: западный участок — В.П. Солоненко, Р.А. Курушин, В.В. Николаев, С.Д. Хилько, при участии В.М. Жилкина, М.Г. Демьяновича, Р.М. Семенова, В.С. Хромовских, А.В. Чипизубова, В.А. Авдеева и использованы сейсмологические данные С.И. Голенецкого и В.М. Кочеткова; восточный участок — В.П. Солоненко, В.В. Николаев, Р.М. Семенов и использованы сейсмологические данные Б.А. Козымина и А.Г. Ларионова — Институт геологии Якутского филиала СО АН СССР; отв. ред. В.П. Солоненко, 1978 г.)

1 — соотношение силы землетрясений (шкала MSK-64) в эпицентре (Io) с магнитудой; 2 — сейсмические районы с силой землетрясений V-IX и более IX баллов; 3 — эпицентры землетрясений по инструментальным дан-

ным и их балльность; 4 — эпицентры землетрясений по палеосейсмогеологическим данным; 5 — районы без вечной мерзлоты; 6 — отдельные острова (мощность до 15-20 м) и островная мерзлота (мощность до 100 м), грунты псевдоталые и пластичномерзлые; 7 — мерзлота мощностью 100-300 м с островами таликов и сплошная мерзлота (мощность 300-1300 м), грунты твердомерзлые; 8 — главные направления вспарывания разрывов в очагах землетрясений (по А.В. Солоненко).

Примечание: Районирование вечной мерзлоты по данным институтов Мерзлотоведения и Земной коры СО АН СССР; типы мерзлоты и грунтов по преобладанию; балльность отнесена к "средним" мерзлым и тальм грунтам по СНиП II-A. 12-69^X (изд. 1977 г., табл. 1).

В.П. СОЛОНЕНКО

УНИКАЛЬНЫЙ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Байкало-Амурская железная дорога (3145 км) и зона ее экономического влияния (около 1,5 млн. км²) находятся в уникальных инженерно-сейсмологических условиях. Они определяются прежде всего сочетанием высокой сейсмичности и сложной вечной мерзлоты (рис. 1, вкл.). Главная особенность — динамичность инженерно-геологических комплексов. Они постоянно изменяются под воздействием как природных процессов, так и под техногенным воздействием.

Из природных явлений главнейшими являются современная тектоника и мерзлотные процессы. Инженерно-геологическую ситуацию осложняют обвалы, скальные оползни, отседание склонов, движение каменных россыпей, солифлюкция, сели, лавины, наледи, термокарст.

Вечная мерзлота и мерзлые грунты по своим инженерно-сейсмогеологическим свойствам неоднородны. В прикладных целях в первом приближении выделяются 3 типа вечной мерзлоты (островная, с островами таликов и сплошная) и грунтов (псевдоталые, пластично-мерзлые и твердомерзлые, с температурой выше -1° , от -1 до -3° и ниже -3° соответственно). В зависимости от сочетания типов мерзлоты и грунтов сейсмичность конкретных площадок может изменяться от $-I$ балла — на твердомерзлых грунтах до $+II \div +III$ балла — на островах пластично-мерзлых грунтов, особенно с таликовыми чашами, где могут резко проявляться резонансные и кумулятивные явления. Под сооружениями сейсмические свойства грунтов изменяются как вследствие изменения их температуры, так и деформационных преобразований, под статической нагрузкой они имеют свойства упруговязких релаксирующих тел, а при резких динамических воздействиях — твердых, хрупких [10, 11].

Хотя для познания сейсмических свойств мерзлых грунтов сделано уже много [7], но еще остаются нерешенные вопросы. Еще нет данных по сейсмическому взаимодействию "грунт—сооружение — грунт". Антисейсмическое строительство на вечной мерзлоте в зоне БАМа можно рассматривать лишь как начало массового инженерно-сейсмологического эксперимента.

Живая тектоника имеет многоплановое влияние на инженерно-геологические условия. С ней связаны высокая сейсмичность большей части территории и как следствие ее — повышенная активность всех инженерно-геодинамических процессов. По сейсмогеологическим признакам главными являются 2 типа региональных сейсмогенных структур: Байкальская рифтовая зона и сводо-блоковые морфоструктуры Южно-Дальневосточной области современной орогении.

Байкальская система рифтовых долин — одна из наиболее сейсмоактивных внутриконтинентальных зон Земли. Это определяется резко контрастными движениями блоков земной коры: впадины опускаются и расширяются, а ограничивающие их горные хребты поднимаются. Между ними проходят глубокие рифтогенные разломы, с которыми и связаны наиболее сильные (до XII баллов, магнитуда $M \geq 8,3$) землетрясения.

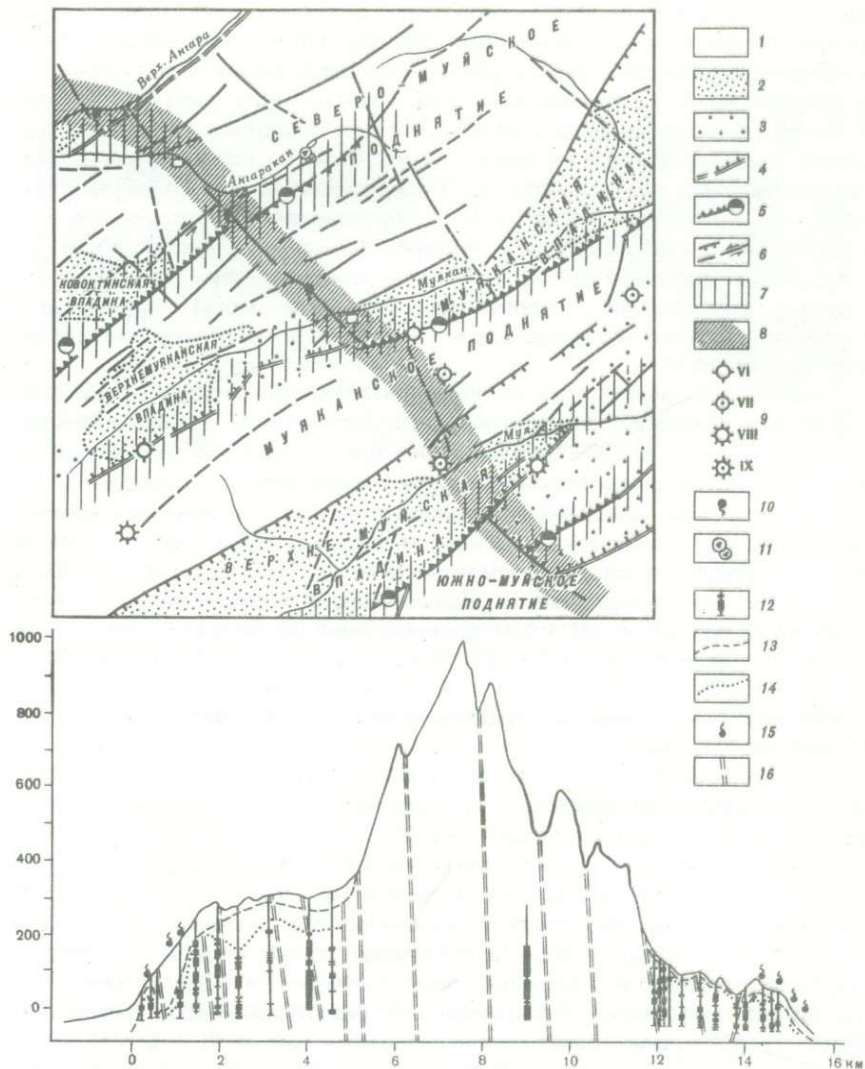
Рифтовые впадины подразделяются на зрелые, эмбриональные и зарождающиеся [15]. Они разделены межвпадинными горными перемычками. Наиболее сейсмически активными являются эмбриональные впадины и горные перемычки. Эпицентры почти всех сильнейших землетрясений в зоне БАМ приурочены к эмбриональным впадинам. При таких землетрясениях происходит резкое опускание впадин и подъем гор, причем сдвигаются они в разные стороны. Возникает сложная система остаточных деформаций земной коры протяженностью в десятки километров с амплитудой вертикального смещения до 7–8 м, иногда до 15 м, при ширине трещин до 19 м. Колебательные движения крыльев разломов, безусловно, разрушительные для любых сооружений, наблюдались на расстоянии до 90 км от эпицентра [1]. Вместе с тем на небольших расстояниях местами сила землетрясения резко падает, что можно объяснить большой мощностью (более 200–300 м) рыхлых отложений, гасящих сейсмические колебания. Строительство в эмбриональных впадинах пока является экспериментальным. Сооружениям здесь предстоит пройти суровые испытания сильными землетрясениями.

Особыми инженерно-сейсмогеологическими районами в рифтовой зоне являются межрифтовые горные перемычки. Они иногда буквально иссечены живыми разломами. В их тело врезаются эмбриональные впадины и сателлиты зрелых впадин, а на самих перемычках — зарождающиеся впадины-грабены.

Напряженность горных пород (граниты) настолько велика, что происходит постоянное их обрушение даже на склонах, по внешним признакам устойчивых. Здесь нам удалось сфотографировать с вертолета момент обрушения склона протяженностью 2,5 км. При наземном обследовании структуры за день произошло 2 обвала [14]. Характерный признак обвалов в перенапряженных массивах — раскалывание горных пород независимо от трещин [1]. Следовательно, на таких морфоструктурах сравнительная оценка степени обвальной опасности по трещиноватости неприемлема.

До настоящего времени в межвпадинных горных перемычках горных выработок не проходили. При строительстве Байкало-Амурской железной дороги это становится неизбежным, так как трасса проходит по впадинам и, естественно, должна пересечь перемычки, разделяющие их. Поэтому инженерная сейсмология их в последнее время усиленно исследуется. Лучше других изучена перемычка между Верхнеангарской и Муйской впадинами (рис. 2).

В окрестностях перемычки, сложенной раннепалеозойскими гранитами, проходит 3 рифтогенных разлома с амплитудой вертикального смещения 800, 1200 и 2000 м. Все они несут остаточные дислокации (сбросы с амплитудой до 7 м), связанные с недавними землетрясениями



Р и с. 2. Верхнеангарско-Муицкая межвпадинная перемычка

1–2 – неотектонические морфоструктуры (1 – горно-блоковые, 2 – впадины байкальского типа); 3 – Муицкая внутривпадинная перемычка; 4 – разломы, активизированные в голоцене; 5 – участки с палеосейсмодислокациями и их эпицентры ($1_0 \geq IX$ баллов); 6 – локальные разломы, активные в кайнозое (бергштрихи – в сторону опущенного крыла, стрелки – направление сдвига); 7–8 – структуры повышенной ($1_0 > IX$ баллов) сейсмической активности (8 – зона Перевального разлома); 9 – эпицентры землетрясений (VI–IX– 1_0); 10 – термальные источники; 11 – Ангараканский сейсмогравитационный обвал. На профиле: 12 – рыхлые тектониты в гранитах (щебнистые, тектоническая мука и глина, местами пльвунуобразная); 13 – подошва рыхлых отложений; 14 – подошва экзогенной коры выветривания; 15 – термальные воды; 16 – главные разломы (преимущественно по предположению)

силой до X—XI баллов. Необычной здесь оказалась зона Перевального разлома, поперечная к рифтогенным сбросам. По ней происходили частые подвижки. Они обусловили дробление и перетираание гранитов вплоть до тектонической монтмориллонитовой глины. Такие зоны мощностью до 50—60 м прослежены до глубины 300 м и продолжают далее. Под воздействием напорных термальных вод тектониты местами претерпели гидротермальный метасоматоз [4]. Нередко они находятся в пльвунообразном состоянии. Такие зоны обуславливают неустойчивое положение крупных скальных блоков, подвижки которых могут происходить при умеренных землетрясениях и при проходке их горными выработками. Кроме того, по ним могут происходить прорывы пльвунов и термальных вод (на поверхности они имеют температуру до 51°).

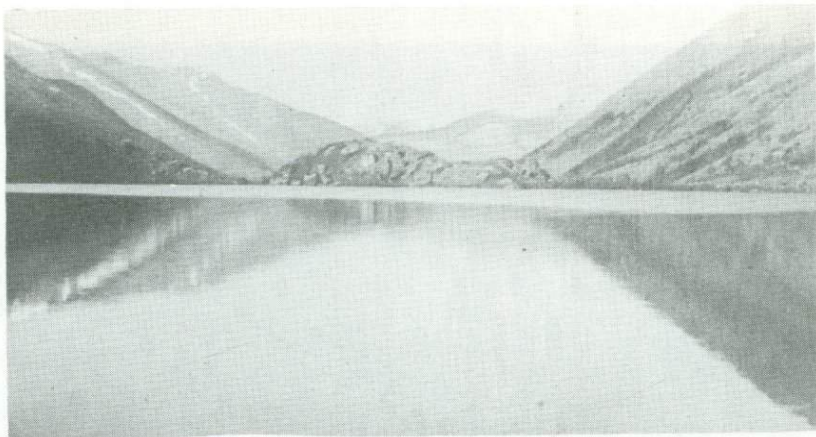
Мощные тепловые потоки по зонам разломов обусловили необычную криогенную ситуацию: по расчетам здесь должна быть сплошная вечная мерзлота мощностью 500—1000 м и более при $t = -5 \div -10^\circ$ и ниже [5]. В действительности вечной мерзлоты в зоне Перевального разлома нет.

При детальном сейсмологическом исследовании выяснилась чрезвычайно высокая сейсмическая активность перемычки: за год в ее районе зарегистрировано около 500 землетрясений (с 1962 г. — более 2500). К пересечению Поперечного и Верхнемуйского разломов приурочен эпицентр IX-балльного ($M \approx 6,7$) землетрясения 29. IV 1917 г. 7—8-балльные землетрясения ($M = 5,6-6$) зарегистрированы 29. VIII 1907 г., 3. I 1958 г., 11. XI 1962 г. и 1. VII 1974 г. По палеосейсмогеологическим данным [12] выявлено, по крайней мере, 3 эпицентральных зоны X—XI-балльных землетрясений.

Сильные землетрясения сопровождаются крупными обвалами. Один из них объемом порядка 5 млн. м³ завалил долину р. Ангаракан и создал озерный селеопасный бассейн (рис. 3).

Гранитный массив горной перемычки находится в перенапряженном состоянии. Он является своеобразным сейсмогеологическим водоразделом. Как показали исследования механизма очагов землетрясений, все землетрясения западнее перемычки имеют очаги, процесс в которых направлен с востока на запад, восточнее перемычки — с запада на восток. Перемычка испытывает максимальное растяжение, ориентированное вкрест геологических (рифтогенных) структур района [8]. Это, с одной стороны, несколько снижает сейсмическую опасность самой перемычки, так как преобладающая часть сейсмической энергии направлена в сторону от нее, а с другой, вследствие растяжения массива, может обеспечить гидравлическую связь разнонаправленных систем трещин, что обусловит аномально высокие водопритоки в горные выработки.

Таким образом, проходка горных выработок (шахт, транспортных туннелей) в межрифтовых перемычках может столкнуться с уникальными инженерно-геологическими условиями: наличием пльвунов в гранитах, предельной неустойчивостью блоков скальных пород, аномальными притоками холодных и термальных вод, отсутствием вечномерзлых грунтов в поле сплошной вечной мерзлоты и исключительно высокой сейсмической активностью (средняя повторяемость разрушительных



Р и с. 3. Сейсмогенный обвал перекрыл ущелье реки. Возник селеопасный бессейн — Ангараканское озеро (фото В. Солоненко, 11.VII 1978 г.)

землетрясений — одно в 50 лет). При IX-балльных землетрясениях по разломам возможны вертикальные смещения до 1–1,2 м, при X-балльных — до 5–7 м. При этом вероятны крупные скальные обвалы на статически устойчивых склонах.

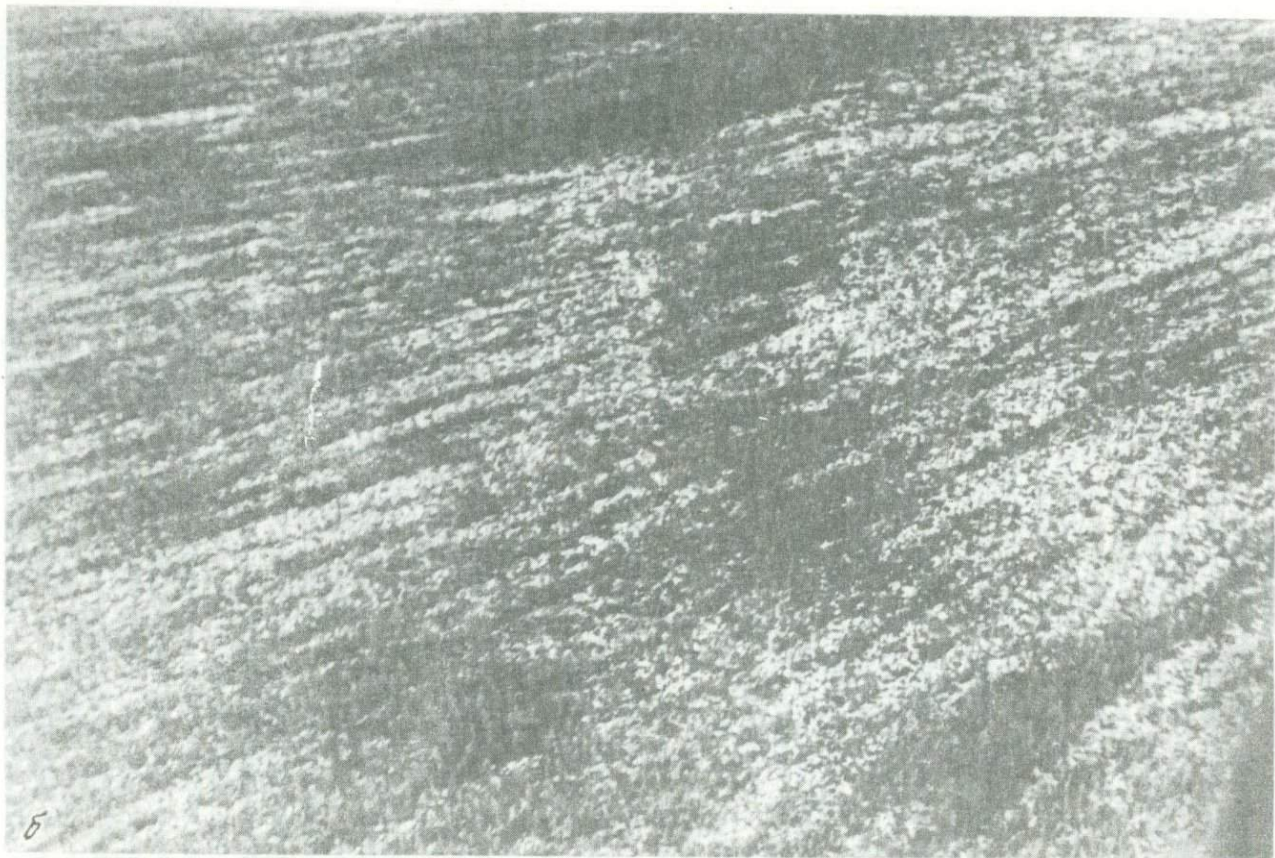
Иные инженерно-геологические проблемы встают при строительстве в рифтовых долинах. Наиболее благоприятными для экономического освоения являются крупные ("зрелые") рифтовые впадины: Северобайкальская, Верхнеангарская, Муйская, Чарская. Амплитуда вертикального опускания коренных дниц впадин 2–7 км, мощность выполняющих их четвертичных отложений от 0,5 до 2–3 км, а в Северобайкальской — более 4,5 км. Вдоль впадин часто проходят две зоны разломов на расстоянии 2–5 км. Между ними заключены педименты гор, опускающиеся или испытывающие вращательные деформации во время наиболее сильных землетрясений. Высокий сейсмический потенциал краевых частей рифтов определяется их сопряжением с воздымающимися горными хребтами, а потенциал (более умеренный) внутренних частей — мозаично-блоковым строением их фундамента.

При планировании коммуникационного и промышленно-гражданского строительства в рифтовых долинах мы сталкиваемся с трудно решаемыми инженерно-сейсмогеологическими проблемами. Во впадинах выделяются 2 основных инженерно-геологических района: их днища и предгорные наклонные равнины и педименты гор.

Во внутренних частях впадин благодаря удаленности от наиболее сейсмоактивных зон рифтогенных разломов и мощным толщам рыхлых осадков, гасящих сейсмические удары, сейсмическая опасность по крайней мере на один балл ниже, чем предгорных наклонных равнин. До них не доходят обвалы, даже сейсмогенные, и лавины. Очень редко сюда прорываются селевые потоки. В этих районах развита сложная вечная мерзлота, занимающая 50, 70 и 90% площади Верхнеангарской, Муйской



a



Р и с. 4. Полигональный рельеф в Чарской впадине (а), струйчатая солифлюкция на Удоканском хребте (б) (фото В. Солоненко 20 и 22.VII 1962 г.)

и Чарской впадин. До 4/5 их площади заболочено. Вместе с тем под болотами часто развиты твердомерзлые грунты, что создает благоприятные предпосылки для строительства с сохранением вечной мерзлоты. На сухих же участках (за исключением отдельных высоких песчаных массивов) чаще, чем на заболоченных, развиты ископаемые льды (в Муйской и Чарской впадинах они встречаются приблизительно на 20% их площади). Вечная мерзлота здесь преимущественно неустойчивая. При освоении территории происходит ее деградация со скоростью до 0,2—0,4 м/год, а под отапливаемыми помещениями — до 0,3—4 м/год. Это обуславливает развитие термокарста, часто приводит к заболачиванию и всегда к разрушению установившихся природных комплексов. Конструкции перенапрягаются или деформируются, что резко снижает их сейсмостойкость.

На днищах впадин часто встречаются полигональные формы рельефа (рис. 4, а). Они сложены, как правило, мелкоземистыми высокольдистыми грунтами и окружены ледяными или грунтово-ледяными жилами. При нарушении почвенно-растительного слоя здесь стремительно развиваются термокарст и болота.

Такие неоднородные инженерно-геокриологические условия по площади и разрезу свойственны также площадям солифлюкционных образований. До настоящего времени господствует представление, что течение грунтов присуще мелкоземистым их разностям и направлено общим фронтом параллельно склону. Но на хребтах в Байкальской рифтовой зоне нами установлены значительные площади со струйчатой структурой россыпей. "Струи" расположены поперек склона (рис. 4, б). Такая структура россыпей, по-видимому, определяется не только линейной солифлюкцией, но и вертикальной и горизонтальной дифференциацией элювиально-делювиальных отложений. Здесь на валах и в ложбинах грунты имеют разный состав и льдистость (растет "радиальный лес") и, естественно, различные инженерно-геологические и сейсмические свойства.

На предгорных наклонных равнинах преобладают грубообломочные грунты (пролювий, аллювий, ледниковые) с высокой несущей способностью. Заболоченность их существенно ниже, чем днищ впадин, и, естественно, эти районы в первую очередь привлекают внимание при районной планировке размещения во впадинах коммуникаций и промышленно-гражданских объектов. Однако за внешним благополучием здесь скрыты грозные разрушительные силы природы. Предгорные наклонные равнины, как правило, отчленены от гор, часто и от днищ впадин сейсмоактивными разломами. При сильных землетрясениях на них развиваются остаточные деформации, поэтому большая часть их площади входит в районы повышенной сейсмической опасности ($> IX$ баллов, см. рис. 1).

Предгорные наклонные равнины часто подвержены атакам селевых потоков. Изучение селей в зоне трассы БАМ находится в начальной стадии, так как ранее об их возможности здесь даже не подозревали, и только в шестидесятых годах впервые был сделан прогноз селеопасности горнотаежной зоны [9]. С гор выходит множество водотоков с большими уклонами и крутыми склонами долин. Формированию селевых потоков способствует специфический режим осадков и непрерывное поступле-

ние в долины обломочного материала (в результате интенсивного физического выветривания, сползания осыпей, солифлюкции, смещения грунта и леса лавинами, массового сброса почво-каменных масс при сильных землетрясениях и др.). К началу летних дождей (конец июня) в горах сохраняются крупные запасы снега, а грунты только начинают оттаивать. Вследствие этого расход водотоков увеличивается в сотни раз. В зоне БАМ соответствующих замеров еще нет, но в сходных условиях Хамар-Дабана при бытовом расходе речки Слюдянки около $2 \text{ м}^3/\text{сек}$ расход селевых потоков 20.VI 1960 г. достигал $220 \text{ м}^3/\text{сек.}$, а 29.VI 1934 г. — $650\text{--}790 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Селеопасным является и июль, когда нередко проходят затяжные дожди, перемежающиеся ливнями.

На наклонных предгорных равнинах широко развиты наледы всех типов, но наиболее крупные из них связаны с разгрузкой подземных вод по зонам сейсмоактивных разломов ("наледные линеаменты"). Здесь формируются многочисленные, местами гигантские, наледы. Крупнейшая из них — Верхне-Сакуканская на южном борту Чарской впадины. Площадь ее 19 км^2 , средняя мощность $2,5 \text{ м}$ [6]. В июле 1962 г. в долине Верхнего Сакукана нам пришлось встретить участок этой наледи с мощностью льда до $12\text{--}15 \text{ м}$, вследствие чего пришлось перенести трассу БАМ, на правый берег р. Чары. В долине р. Сюльбан где пройдет железная дорога, формируется почти непрерывная цепочка наледей длиной $8\text{--}24 \text{ км}$. В Ханийской впадине, где дорога от Чарской впадины пойдет к р. Олекме, наледы занимают площадь около 7 км^2 при средней мощности $2,3 \text{ м}$ [6].

Предвидеть место и мощность наледообразования у дорог и других сооружений можно далеко не всегда. Это выясняется экспериментально — после строительства и первых лет эксплуатации. Поэтому БАМ — это экспериментальный полигон протяженностью свыше 3 тыс. км .

На наклонных предгорных равнинах довольно часто встречаются ископаемые льды различного происхождения. Мощность пластовых и блоковых ископаемых льдов достигает 15 м , местами имеется несколько пластов льда. На площадях с высокольдистыми грунтами и ископаемыми льдами при нарушении почвенно-растительного слоя в результате деятельности человека, при землетрясениях и по другим причинам возникает термокарст. В 1962 г. на Становом нагорье произошло бурное развитие термокарстового провала площадью $1,2 \text{ га}$, глубиной 15 м [1]. В 1967 г. около оз. Леприндо, где пройдет трасса БАМ, на эпицентральной площади роя слабых землетрясений внезапно образовался термокарстовый селевой лог длиной в 650 м , шириной $10\text{--}15 \text{ м}$, глубиной 6 м и термокарстовый провал площадью более $2,5 \text{ тыс. м}^2$, глубиной 20 м .

На горных склонах впадин в связи с сильными землетрясениями происходит масса обвалов. Так, в связи с землетрясением 27.VI 1957 г. обвалы нами зафиксированы на площади порядка 150 тыс. км^2 . Они происходили на расстоянии до 350 км от эпицентра (700 км вдоль трассы БАМ — от Верхней Ангары до р. Олекмы). На южном обрамлении Чарской впадины (хр. Кодар) обвалы происходят даже при умеренных землетрясениях. При сильных же сейсмических ударах здесь возможны грандиозные обвалы. Так, Апсатский сейсмогенный скальный оползень-обвал имеет длину более $2,5 \text{ км}$, высота обвально-оползневых амфитеатров $350\text{--}450 \text{ м}$, протяженность конусов обвалов $600\text{--}800 \text{ м}$ [1].



Р и с. 5. Склоновые процессы (Верхнеангарский хребет, верховья р. Кичеры) : осыпи, выносы лавин (л) и селей (с). На переднем плане — край гигантского Кичерского сейсмогенного обвала (фото В. Солоненко, 24.VII 1978 г.)

На склонах гор, окружающих впадины, большие площади занимают россыпи-курумы. На поверхности видны обычно крупные глыбы, и такое строение россыпей вошло в справочную и учебную литературу. В действительности же под поверхностным крупноглыбовым материалом вследствие выпучивания часто залегает слой мелкоземистого высокольдистого грунта или гольцового льда, мощностью до 50–60 см. Поэтому россыпи приходят в движение уже при углах наклона 3–5°, хотя по всем теоретическим расчетам на таких склонах они двигаться не могут. При подрезке склоновых россыпей и курумов выемками или при землетрясениях может произойти внезапное движение россыпей обвально-оползневого типа.

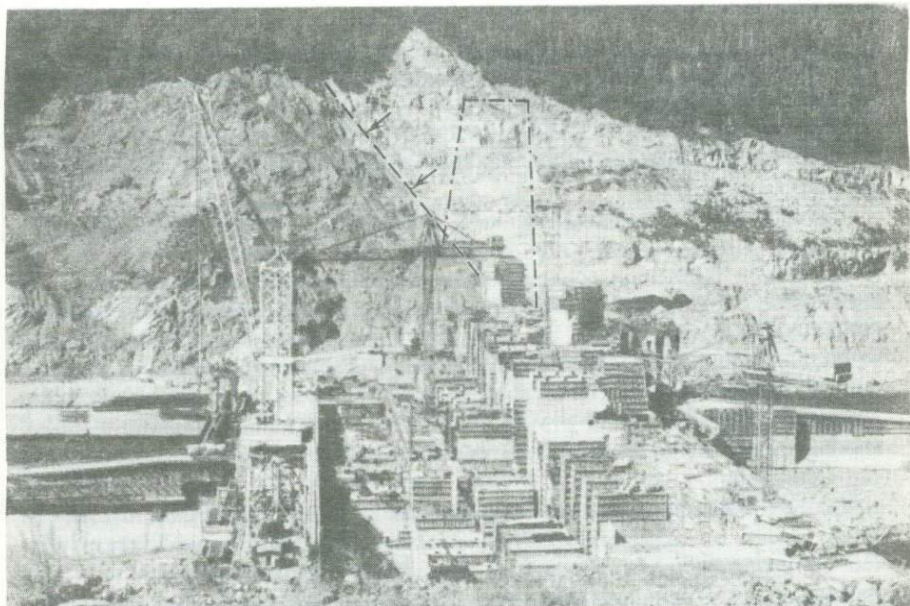
О напряженности динамических процессов на крутых склонах гор наглядное представление дает рис. 5, где сейсмогенный обвал объемом 250–300 млн. м³ перекрыл две троговые долины, в которых образовались озера. Обвал относится к типу сейсмозабужденных [13], поэтому он прошел по долине почти 4 км и в то же время “выплеснулся” на противоположный склон.

Естественно, что при строительстве самой Байкало-Амурской железной дороги придется столкнуться со всеми отмеченными элементами инженерно-геологического комплекса. Однако и при строительстве других крупных объектов мы сталкиваемся с необычной инженерно-геологической ситуацией. Приведем примеры из гидротехнического строительства.



Р и с. 6. Схема сеймотектоники района Зейской ГЭС и перевального участка трассы БАМ (составили В.В. Николаев, Р.М. Семенов, В.П. Солоненко)

1 — Тукурингра-Джагдинское сводо-блоковое поднятие; 2 — впадины; 3 — зоны древних глубинных разломов Монголо-Охотского пояса; 4 — разломы, активизированные в кайнозой, сейсмоактивные; 5 — эпицентры землетрясений с $M < 4\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2} - 4\frac{3}{4}$, $4\frac{3}{4} - 5\frac{1}{2}$ (1_0 — VII баллов), $5\frac{1}{2} - 5\frac{3}{4}$ (1_0 — VIII баллов) соответственно



Р и с. 7. Тектонический разрыв в створе плотины Зейской ГЭС. Контур недостроенной части плотины показан пунктиром (фото В. Солоненко, 22.VIII 1974 г.)

Зейская гидроэлектростанция. Проектирование и начало строительства станции началось в сейсмически неизученном районе. Только с началом строительства был проведен годичный цикл инструментальных наблюдений. Он совпал с периодом сейсмического затишья, и район строительства был отнесен к практически асейсмичным. Однако уже при рекогносцировочном сейсмогеологическом обследовании в 1967 г. нами установлено, что гидроэлектростанция строится на активно развивающейся Тукурингра-Джагдинской сводо-блоковой структуре, ограниченной Южно- и Северо-Тукурингскими взбросами. Они входят в Монголо-Охотскую зону глубинных разломов, которая протягивается почти на 3,5 тыс. км из Северной Монголии (где с ним связаны XI- и XII-балльные землетрясения 9 и 23.VII 1905 г., $M = 8,4$ и $8,7$) до Охотского моря.

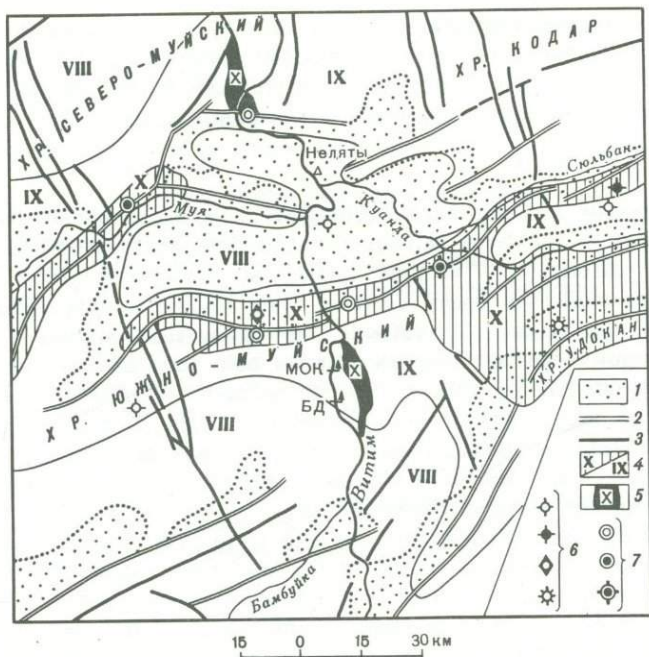
Сейсмогеологический прогноз подтвердился VIII-балльными землетрясениями ($M \approx 5,7$) 13. VI 1972 г. и 2. XI 1973 г.*, после чего были проведены специальные сейсмогеологические исследования [16]. При этом выяснилось, что плотина строится на активном крыле Южно-Тукурингского взбросо-сдвига (в 1,5 км от его выхода на поверхность), который проходит под плотиной на глубине 2,5—3 км. Непосредственно в створе плотины проходит еще один разрыв (рис. 6). По его сместителю диориты превращены в пластичную тектоническую глину. Плотина примыкает к этому разрыву (рис. 7). При землетрясениях возможны смещения блоков, которые вызовут в теле плотины мощные скалывающие напряжения. Движения блоков (до 10 мм) подтвердились при специальных исследованиях с применением лазерных дальномеров. Автор исследований [3] связывает их с местными землетрясениями. Однако в период подвижек сейсмические станции толчков с $K \geq 7$ не регистрировали.

Сейсмогеологические данные вынудили перепроектировать уже в ходе строительства Зейскую гидроэлектростанцию на сейсмическое воздействие VIII баллов [16].

Витимская гидроэлектростанция. Сейсмогеологические условия строительства этой крупной гидроэлектростанции определяются ее положением вблизи рифтовой зоны в пределах Южно-Муйской сводо-блоковой сейсмогенной структуры, ограничивающей с юга Муйский рифт (рис. 8). Район высокоактивен: в 50 км восточнее находится эпицентральная зона X—XI-балльного ($M = 7,9$) Муйского землетрясения 27. VI 1957 г., при котором динамические деформации по Южно-Муйскому разлому доходили до р. Витим. В этой зоне разломов по палеосейсмогеологическим данным выделены эпицентральные зоны мощных землетрясений (IX—X баллов).

Особая специфика возможных створов плотины заключается в отклонении здесь от общепринятой закономерности, по которой считается, что чем плотнее грунты, тем выше скорости сейсмических волн и ниже сейсмическая опасность. При обследовании Муйского землетрясения было установлено резкое усиление землетрясения на ультраосновных массивах. Нами было высказано предположение, что здесь мы имеем дело с

* 16. VIII 1977 г. произошло еще одно VII—VIII-балльное землетрясение ($M = 5,4$).



Р и с. 8. Схема сейсотектоники района Витимской ГЭС и Муйского участка трассы БАМ

1 — впадины байкальского типа; 2 — рифтогенные сейсмоактивные разломы; 3 — прочие разломы, активные в кайнозое; 4 — сейсмические районы (IX—X баллов); 5 — ультраосновные массивы Парамский и Шаман; 6 — эпицентры землетрясений с 1₀-VI, VII, VIII и X—XI (Муйское 27.VI1957 г.) баллов соответственно; 7 — эпицентры землетрясений по палеосейсмогеологическим данным IX, X и X—XI баллов. МОК и БД — Мокский и Болдыревский створы Витимской ГЭС

Р и с. 1. Схема формирования инженерно-геологических свойств терригенных осадочных образований в процессе литогенеза

лакколитообразными телами с узким подводящим каналом. Имея большие относительные высоты (около 1800 м), такие тела получают дополнительные колебания. На них возникают эпицентры "возрожденных" землетрясений [1]. Геофизические исследования показали, что гипербазитовые массивы (средняя плотность 2,97 г/см³, средняя плотность окружающих метаморфических пород 2,67 г/см³) вообще не имеют подводящих каналов, представляя собой, по-видимому, элементы гигантского тектонического меланжа. Максимальная вертикальная толщина массива Шаман в районе Витимской ГЭС 2,3 км [2].

По этим причинам мы еще в 1964 г. лучшие по сейсмическим свойствам грунты — серпентинизированные перидотиты и дуниты — отнесли к худшим для размещения плотины ГЭС.

Таким образом, в зоне экономического влияния трассы БАМ строительство встретится часто со специфическими инженерно-геологическими, сейсмогеологическими, и геокриологическими условиями, взаимосвязь

и взаимовлияние которых нередко прогнозируются ненадежно или еще совсем неясны. Поэтому над всесторонним изучением всего этого специфического природного комплекса в настоящее время трудятся сотни научных и научно-производственных коллективов.

А B S T R A C T

The complexity of engineering-geological conditions makes the BAM unprecedented in the large railway construction. This is defined by the following reasons: 1 — various geological structures: from ancient platforms to modern orogeny (within 1175 km the railway passes along the axis of the Baikal rift system); 2 — its location in the central part of the Mongolia—Baikal—Okhotsk seismic belt (one of the most active intracontinental Earth's zones); 3 — permafrost presence with all well-known types (zonal and ground), extensive fields of fossil ices and all kinds of engineering-geocryological processes and phenomena; 4 — severe climatic conditions and various landscapes (from extensive boggy plains to mountain systems of Alpine type).

The specific geological structures and geological history don't allow to use in the BAM zone without testing the stable regularities set up in the engineering geology and in particular in seismology. Thus, it was the first case in practice when in the region of the projected Vitim hydro-power station the strongest mountain rocks (ultrabasites) turned out to be favourable for dam construction.

In connection with this investigations in prospecting the lands for town and industrial planning it isn't sufficient to study the existing conditions but it is necessary to predict their change in time just as natural conditions so in the course of construction and structure maintenance. Of principal importance is the prediction of seismicity, frost and slope dynamics in their interconnection. All these problems are not well developed yet and justification degree of forecasts is in the initial stage of testing.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья /Ред. В.П. Солоненко. М.: Наука, 1966.
2. Зорин Ю.А., Грудинин М.И., Турутанов Е.Х. Морфология Шаманского и Парамского гипербазитовых массивов. — Докл. АН СССР, 1978, т. 238, № 1.
3. Корчагин Ф.Г. Особенности горизонтальных блоковых движения в районе Зейской ГЭС. — В кн.: Районирование геофизических полей и глубинное строение Дальнего Востока. Владивосток, 1977.
4. Ломоносова Т.К., Демьянович М.Г. Гидротермальные глинистые метасоматиты в гранитах Северо-Муйского хребта. — Докл. АН СССР, 1978, т. 239, № 4.
5. Некрасов И.А. Геокриологическое картирование и районирование Северо-Восточного Забайкалья. — В кн.: Многолетнемерзлые горные породы Станового нагорья и Витимского плоскогорья. М.: Наука, 1967.
6. Некрасов И.А. Наледи восточной части Станового нагорья. — В кн.: Наледи Сибири. М.: Наука, 1969.
7. Сейсмическое микрорайонирование в условиях вечной мерзлоты. Новосибирск: Наука, 1975.

8. *Солоненко А.В., Солоненко Н.В.* Использование видимых периодов для определения скоростей и направлений разрывов в очагах слабых землетрясений. — Тез. докл. "Традиционные и новые вопросы сейсмологии и сейсмостойкого строительства". Душанбе, 1978.
9. *Солоненко В.П.* Селевые потоки в горнотаежных условиях. — В кн.: Материалы V Всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и мер борьбы с ними. Баку: Изд-во АН АзССР, 1962.
10. *Солоненко В.П.* Сейсмогенное разрушение горных склонов. — Докл. сов. геол. на XXIV сессии Междунар. геол. конгр. Секции № 11 и 13. Гидрогеология и инж. геология. М.: Наука, 1972.
11. *Солоненко В.П.* Сейсмичность криолитозоны и проблемы инженерной сейсмогеокриологии. — В кн.: Материалы II Международной конференции по мерзлотоведению, вып. 6. Якутск, 1973.
12. *Солоненко В.П.* Палеосейсмогеология. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1973, № 9.
13. *Солоненко В.П.* Оползни и обвалы в сейсмических зонах и их прогноз. — В сб.: Геология четвертичного периода. Инженерная геология. Гидрогеология аридной зоны. XXV сессия Междунар. геол. конгр. М.: Наука, 1976.
14. *Солоненко В.П.* Сейсмотектоника Байкальской рифтовой зоны. — В кн.: Роль рифтогенеза в геологической истории земли. Новосибирск: Наука, 1977.
15. *Солоненко В.П.* Сейсмогенные деформации и палеосейсмогеологический метод. — В кн.: Сейсмичность и сейсмогеология Восточной Сибири. М.: Наука, 1977.
16. *Солоненко В.П., Николаев В.В., Семенов Р.М., Саралупов А.Д.* Сейсмичность района Зейской ГЭС. — Геология и геофизика, 1977, № 7.

УДК 624.131 : 502.76

Ю.Б. ОСИПОВ, Д.Г. ЗИЛИНГ

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Геологическая среда является важнейшим компонентом окружающей среды, охрана и рациональное использование которой невозможны без учета ее "геологической" составляющей. В инженерной геологии в понятие "геологическая среда" включается лишь та приповерхностная часть литосферы, которая подверглась антропогенному воздействию и может быть преобразована им. Такое определение геологической среды позволяет рассматривать ее с инженерно-геологических позиций как зону с неуклонно расширяющимися границами и объемами по мере роста технических возможностей общества, т.е. как развивающуюся систему.

Геологическая среда в качестве составных элементов включает в себя горные породы, подземные и поверхностные воды, почвы, "живое вещество", находящиеся в различных структурных и динамических формах (таблица). Вследствие этого геологическая среда выступает как сложная динамическая система, где все ее элементы находятся в тесном взаимодействии не только между собой, но и с другими элементами природной обстановки, что находит отражение в развитии целого ряда естественных и антропогенных процессов. Широкое и все нарастающее развитие и проявление их начинает ощутимо сказываться на условиях обитания человека, и в связи с этим возникает необходимость в ближайшие годы научиться прогнозировать развитие этих процессов, а в конечном счете ими управлять.

Элементы геологической среды

Вещественные	Структурные	Динамические
Горные породы и почвы	Тектоническая структура, неотектонический режим	Эндогенные и экзогенные геологические процессы
Поверхностные воды в пределах континентов	Геологическое строение	Геофизические и геохимические поля
Подземные воды	Рельеф и главные геоморфологические формы	Физико-химические и биологические процессы в горных породах и природных водах

В целом проблема освоения геологической среды человеком включает в себя как минимум два основных аспекта:

- использование геологической среды как минерально-сырьевой базы;
- использование геологической среды как места обитания и инженерной деятельности человека.

Первый аспект связан с разработкой всех видов полезных ископаемых и по существу определяет развитие экономики в глобальном масштабе. Он решается целым рядом геологических и экономических дисциплин, в том числе и такой быстро развивающейся, как природопользование. Второй аспект связан с условиями существования людей, оценкой и нейтрализацией негативных последствий инженерного воздействия человека на геологическую среду.

В настоящее время наиболее подготовленной к решению последней задачи, в ряде прочих дисциплин, является инженерная геология. Анализ последних достижений в этой области позволяет сделать вывод о том, что современная инженерная геология способна решать значительный круг проблем в области охраны и рационального использования геологической среды в процессе ее хозяйственного освоения.

Вместе с тем следует отметить, что в этом направлении, а также в разработке научных основ охраны и рационального использования окружающей среды сделаны пока лишь первые шаги. При этом обращает на себя внимание и тот факт, что место и значение геологического фактора (геологической среды) в рамках всей природоохранной проблемы не заняло еще подобающего места ни в СССР, ни на международном уровне, что не могло не отразиться на результатах проводимых исследований.

Создавшееся положение в ближайшее время должно быть исправлено, для чего необходимо объединить усилия инженеров-геологов всех стран на решение ряда первоочередных вопросов. К их числу можно отнести следующие проблемы.

Проблему комплексного регионального прогноза изменения геологической среды в результате антропогенного воздействия. В настоящее время уже нет необходимости доказывать, что научно обоснованное решение о рациональном использовании геологической среды и ее охране невоз-

можно без оценки инженерно-геологических условий, которые должны быть учтены как один из ее компонентов в виде пространственно-временного прогноза изменения этих условий. Такой прогноз будет лежать в основе экономической оценки рационального использования геологической среды, при котором нужды общества будут удовлетворяться с максимальной эффективностью, а изменения среды должны быть минимальными при ограниченных затратах на рекультивационные работы.

Не касаясь вопросов экономического анализа, при взаимодействии системы "природа—хозяйство", рассмотрим некоторые особенности инженерно-геологических прогнозов, необходимых для решения поставленной задачи.

Любой инженерно-геологический прогноз должен базироваться на геологической информации о закономерностях изменения инженерно-геологических условий, конкретным отражением которых могут быть карты типологического районирования изучаемого региона. Сложность и многообразие природных условий и их главной составляющей — геологической среды — не позволяют выполнить эту работу без предварительного построения комплекса поэлементных карт, отражающих строение, структуру геологической среды, ее вещественный состав и динамику изменений.

Необходимость разработки принципов составления легенд, макетов, комплекса таких карт первоначально мелкого обзорного масштаба составляет сейчас одну из актуальных задач современной инженерной геологии.

В качестве конкретного примера комплекса таких карт можно назвать подготавливаемые в настоящее время к изданию карты по территории Нечерноземной зоны Европейской части СССР и Байкало-Амурской магистрали. Эти работы еще не закончены, но полученные материалы позволяют говорить об их необходимости при хозяйственном освоении крупных территорий.

Второй составляющей частью прогноза является сбор и систематизация информации о реакции геологической среды на основные виды антропогенного воздействия (городское, промышленное и линейное строительство, горнодобывающая промышленность, гидротехническое и мелиоративное строительство, разработка жидких и газообразных полезных ископаемых). Этим определяется следующая частная проблема инженерно-геологических исследований. Она может решаться путем составления карт изменения геологической среды или созданием автоматизированной поисковой системы.

Исследования в упомянутых выше направлениях позволят более обоснованно планировать мероприятия по охране природной среды в пределах крупных регионов и отдельных континентов.

Не менее актуальны инженерно-геологические исследования подобного рода и для отдельных промышленных районов и комплексов. В настоящее время при проектировании крупных инженерных сооружений проводится прогнозирование изменения инженерно-геологических условий в процессе возведения и эксплуатации того или иного объекта. Например, при строительстве горнодобывающих предприятий прогнозируются возможные оседания поверхности, водопитоки в горные выработки, крутизна бортов

карьеров и породных отвалов и т.д. Однако эти прогнозы носят ярко выраженный отраслевой характер и позволяют выявить и предотвратить только некоторые негативные изменения природной обстановки, ограниченные пределами горного землеотвода. Проведенное обследование ряда промышленных районов показало, что изменения геологической среды в них носят гораздо более широкий, региональный характер, охватывая территории в сотни и тысячи квадратных километров (изменения поверхностного и подземного стока, загрязнение поверхностных и подземных вод, формирование депрессионных воронок, засоление или загрязнение почв токсичными продуктами породных отвалов, активизация ряда геологических процессов и т.д.). Кроме того, один вид хозяйственного воздействия на территорию практически не встречается. В зоне горнопромышленного комплекса возникают промышленные объекты и города, создаются водохранилища, разветвляется линейное строительство. Все это приводит к многофакторному воздействию на природную среду и требует для учета ее ответной реакции комплексного регионального прогноза. Примеров такого прогноза изменения инженерно-геологических условий промышленных районов в настоящее время неизвестно, хотя необходимость в них прогрессивно нарастает.

Вторую проблему инженерной геологии составляют задачи, связанные с прогнозом геологических и антропогенных инженерно-геологических процессов. Эта проблема должна решаться, с одной стороны, на основе создания сети стационарных станций режимных наблюдений за всеми изменяющимися компонентами геологической среды, постановкой детальных исследований на отдельных участках с проведением натуральных инструментальных наблюдений и моделирования. С другой стороны, необходима разработка теории прогноза по отдельным видам инженерно-геологических процессов. При этом следует учитывать наличие различных механизмов проявления одного и того же геологического процесса в зависимости от конкретной геологической обстановки и зонально-климатических условий. По-видимому, только при наличии хорошо разработанной теории можно создать строгую методику стационарных наблюдений за каждым из видов геологических процессов с целью практического уточнения и совершенствования прогнозных расчетов. Это положение, конечно, не означает, что до разработки теории не следует выполнять стационарные работы. Последние по существу, в сложившейся ситуации в ряде случаев являются единственным способом решения прогнозных задач в области инженерной геодинамики. Вместе с тем будущая система мониторинга по геологическим процессам может быть только тогда эффективной и действенной, если она базируется на единой, унифицированной методике наблюдений и обработке полученных данных. Таким образом, в области инженерной геодинамики с целью успешного решения задач по охране окружающей среды сейчас необходимо параллельно разрабатывать теорию развития экзогенных геологических (в том числе антропогенных) процессов и создавать методики одновременных стационарных наблюдений по видам геологических процессов.

Следующей комплексной проблемой в плане охраны и рационального использования геологической среды является загрязнение подземных вод,

которое происходит вследствие загрязнения всей окружающей среды в целом — атмосферы, поверхности земли, почв, поверхностных вод промышленными сточными водами, бытовыми стоками и отходами, сельскохозяйственными удобрениями и ядохимикатами. Содержание загрязняющих компонентов в подземных водах под влиянием антропогенного воздействия возрастет в десятки и сотни раз, а скорость распространения загрязнения составляет десятки и сотни метров в год. Сложившаяся реальная ситуация приводит к необходимости разработки методов прогноза качества воды в водоносных горизонтах. Совершенно очевидно, что, помимо гидрогеологического аспекта этой проблемы, она включает в себя и ряд инженерно-геологических вопросов, так как прогнозирование процесса загрязнения должно быть основано на точном знании механизма взаимодействия между горными породами и подземными водами в различных термодинамических условиях.

Эта проблема становится еще более острой в связи с возрастающими темпами захоронения промышленных жидких отходов в подземное пространство. В этой связи возникает задача о природе физико-химического взаимодействия горных пород, минералов, почв с природными и промышленными водами. Для ее решения необходимо иметь всю информацию относительно механизма самоочищения подземных вод и промышленных стоков в процессе их контактов с горными породами и почвами. В этом плане исследование природы сорбции различных химических элементов и веществ в почвах и особенно в глинистых породах имеет важнейшее значение. Здесь же необходимо уделять должное внимание роли микроорганизмов, обитающих в водах, почвах и горных породах, которые могут существенно влиять на ход различных физико-химических реакций, протекающих в геологической среде.

Актуальной инженерно-геологической проблемой является дальнейшая **разработка и совершенствование лабораторных и полевых методов исследования свойств горных пород**. Сейчас эта задача должна решаться на двух уровнях. С одной стороны, необходима разработка самых современных физико-химических и механических методов исследования свойств пород в лаборатории, а с другой — необходимы полевые автоматизированные приборы и оборудование, позволяющие непрерывно, в заданном режиме вести долговременные наблюдения за изменяющимися параметрами свойств горных пород в массиве.

Необходимость такого полевого оборудования вытекает со всей очевидностью, как только возникает проблема организации полевых исследований на достаточно крупных территориях. Неразрывно с этим должна быть и другая проблема, связанная с разработкой и созданием банка данных геологической информации для крупных хозяйственных объектов регионов, стран и континентов.

В заключение следует еще раз отметить, что в настоящее время в решении проблемы "Охрана окружающей среды" отмечается недооценка геологической составляющей или, другими словами, вещественной основы. Это достаточно наглядно можно видеть в действующих и в разрабатываемых программах ООН и ГКНТ СССР по охране окружающей среды. Поэтому профессиональный долг геологов и прежде всего инженер-геоло-

гов, гидрогеологов, мерзлотоведов, гидрологов на имеющемся богатом фактическом материале показать и доказать необходимость неотложного включения научно-исследовательских работ геологического содержания в Комплексные программы по охране окружающей среды.

А B S T R A C T

La conception du milieu géologique en tant que la partie supérieure de la lithospère embrassée par l'activité créative de l'homme et qui comprend les roches, les eaux souterraines, celles de surface, les sols et "une substance vivante" sousentend que cette zone devient continuellement plus large dans la mesure du progrès des possibilités techniques de la société.

En outre, le milieu géologique joue le rôle d'un système dynamique complexe où tous ses éléments sont en liaison réciproque étroite non seulement entre eux, mais avec d'autres éléments de la nature ce qui se reflète dans le développement des processus naturels et antropogènes. Ceci porte à l'ordre du jour non seulement la nécessité de l'étude et des prévisions de tels processus, mais, finalement, la possibilité de leur contrôle.

A l'heure actuelle la géologie technique est, parmi de nombreuses disciplines géologiques, la plus préparée à la résolution de ce problème et elle peut répondre pratiquement à tous les problèmes liés à l'activité technique de l'homme.

En même temps il faut noter qu'en somme on a fait peu à cet égard, ainsi que dans le domaine de l'élaboration des principes scientifiques de la protection et de l'utilisation opportune du milieu géologique. De même que le rôle du facteur géologique au cours de l'évaluation du changement du milieu environnant n'est pas dûment apprécié ni en URSS, ni au niveau international.

УДК 624.131.31

М.В. ЧУРИНОВ, И.М. ЦЫПИНА, В.П. ЛАЗАРЕВА

ТИПИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КАК ОСНОВА РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИИ

Типизация инженерно-геологических условий представляет собой завершающий этап анализа выявленных закономерностей формирования их, выполняемых при региональном инженерно-геологическом изучении территории. Типизация позволяет установить сходство инженерно-геологических условий в пределах выделенных типов территории. В основу выделения типов положен принцип учета влияния комплекса природных факторов, определяющих инженерно-геологические условия конкретной территории, с целью оценки ее строительного освоения.

Подход к выделению типов территории должен основываться на учете историко-геологического и структурно-генетического анализа фактически-

го материала, полученного в результате ее регионального инженерно-геологического изучения.

Изучение геологического строения, распространения геологических формаций и тектонических условий их образования, распространения слагающих их стратиграфо-генетических комплексов и характера их обводненности, особенностей развития современного рельефа, проявления новейших тектонических движений, сейсмичности и направленности развития современных геологических процессов с учетом ландшафтно-климатической зональности положено в основу разработки. Указанный комплекс природных факторов положен в основу выделения охарактеризованных ниже типов территории по инженерно-геологическим условиям.

Тип 1 — территория синеклизы платформенного развития, сложенная формациями терригенных и карбонатных пород, перекрытых мощной толщей песчано-глинистых ледниковых, озерных и болотных отложений с близким залеганием грунтовых вод, развитием спорадических и подземных вод с местным напором.

Характерен плоско-волнистый и грядовой ледниковый рельеф. Территория располагается в зоне избыточного увлажнения. Преобладают: заболачивание, оползневые процессы по долинам рек и глубинный карст.

Широким развитием пользуются плотные моренные суглинки, допускающие большие нагрузки, местами способные к пучению.

Инженерная подготовка заторфованных и заболоченных территорий, занимающих здесь около 20% площади, должна заключаться в сочетании дренажных работ в виде устройства песчаных дрен с применением выторфовывания, уплотнения и пригрузки торфа насыпным грунтом. Полное выторфовывание экономически оправдано только при слое торфа до 2 м мощности. При большой мощности торфа рекомендуется применение свайных опор и фундаментов.

При глубинном строительстве необходимо учитывать возможность проявления карстовых процессов.

Тип 2 — территория антеклизы платформенного развития, характеризующаяся сложным тектоническим строением, отличающимся чередованием впадин и поднятий разного возраста. Платформенный чехол сложен формациями терригенных, терригенно-карбонатных и карбонатных пород. Терригенная формация представлена гипсоносными, песчано-глинистыми и карбонатными породами. Терригенно-карбонатная формация сложена комплексом мергельно-меловых пород с прослоями глин, опок и глауконитовых песков. Породы карбонатной формации сложены комплексом верхнепермских известняков, доломитов, мергелей и глин с прослоями гипса.

Четвертичный покров слагается: элювиально-делювиальными и делювиальными облёссованными отложениями с распространенными в них грунтовыми водами и верховодкой.

Характерен эрозионно-денудационный рельеф плато, возвышенности чередуются с низкими равнинами. Территория располагается в умеренно влажной зоне. Преобладают процессы выветривания и овражно-балочного интенсивного эрозионного расчленения, характерно развитие карста и оползней по долинам рек.

Инженерная подготовка данной территории определяется необходимостью проведения планировочных работ и дорогостоящих мероприятий по борьбе с эрозией и предотвращением оползней.

Тип 3 — территория антеклизы с выступом кристаллического фундамента, перекрытого чехлом малой мощности пород терригенных и карбонатных формаций, выходящих на поверхность полосами по долинам рек. Породы древних структурных этажей архейского и протерозойского возраста формировались в геосинклинальных условиях, а герцинского и альпийского — в платформенных. Отложения смяты в синклинальные и антиклинальные складки и сильно метаморфизованы.

Четвертичные отложения представлены флювиогляциальными песчаными отложениями и золово-делювиальным комплексом лёссовидных пород, перекрывающих сплошным чехлом водоразделы и склоны речных долин и балок. Широко развиты безнапорные подземные воды. Характерен холмистый и холмисто-увалистый рельеф, сильно приподнятых денудационных равнин-плато.

Территория входит в умеренно влажную зону. Здесь развиты оползни по склонам речных долин и балок, эрозионные процессы, заболоченность в пониженных участках и глубинный карст, приуроченный к трещиноватости мергельно-меловой толщи. Инженерно-геологические условия освоения территории не требуют применения сложной инженерной подготовки.

Тип 4 — территория синеклизы с длительным прогибанием платформы, начавшимся с конца палеозоя и продолжающимся до настоящего времени, характеризуется развитием соляно-купольной тектоники. Территория представляет собой морскую аккумулятивную равнину, сложенную мощной толщей песков, супесей, суглинков и глин, перекрытых золовыми песками. Типичными элементами рельефа данной низменной равнины являются бессточные замкнутые понижения-соры.

Развитые здесь близко залегающие грунтовые воды, как правило, соленые и обладают сульфатной агрессивностью по отношению к бетону. Наблюдаются редкие линзы пресных подземных вод. Широко развиты золовые процессы — развевание и движение песков, а также сорообразование. Территория располагается в сухой зоне.

Инженерная подготовка данной территории заключается в проведении мероприятий по закреплению подвижных песков, защите фундаментов от агрессивных сульфатных подземных вод и в организации питьевого водоснабжения.

Тип 5 — территория синклинория со складчатыми структурами субширотного направления, сложенная породами угленосных и терригенно-карбонатных формаций каменноугольного и пермского возраста, перекрытых тяжелыми и средними суглинками с крупнообломочными включениями. Дочетвертичные отложения, залегающие близко от поверхности, представлены комплексом песчаников, известняков и каменных углей. Подземные воды в них залегают на больших глубинах. Рельеф поверхности территории — эрозионно-денудационная волнистая равнина с развитием каменных гряд, гривок и бугров.

Поскольку на данной территории широким развитием пользуется кора выветривания, инженерно-геологические условия определяются необхо-

димостью учета ее мощности, состава и свойств. Территория располагается в зоне недостаточного увлажнения. Опыт строительства показал, что в связи с разработкой месторождений полезных ископаемых здесь широко развиты инженерно-геологические процессы: проседания поверхности с образованием трещин, проседания, воронок и деформаций зданий.

Тип 6 — территория передового предгорного прогиба эпигерцинской платформы, сложенного палеозойскими породами и перекрывающимися их чехлом мезозойских и кайнозойских отложений молассовых, терригенных и терригенно-карбонатных формаций. Молассовая формация представлена комплексом красно-бурых глин с прослоями галечников неогенового возраста. Терригенная формация слагается майкопскими глинами, характеризующимися неоднородностью состава. Терригенно-карбонатная формация сармата и понта представлена известняками-ракушечниками, песчаниками, песками и реже глинами, с развитием пластово-трещинных и трещинно-карстовых вод.

Породы указанных формаций выше сменяются толщей лёссовидных суглинков различного возраста элювиально-деллювиального генезиса, значительно уменьшающейся в мощности предгорной части. Грунтовые воды, развитые в лёссовидной толще, обладают сульфатной агрессивностью и залегают на глубинах более 10 см.

Рельеф территории представляет собой серию полого-наклонных равнин, на которых широким развитием пользуются просадочные и эрозионные процессы, а также оползни на склонах речных долин и балок.

Территория расположена в пределах сухой зоны недостаточного увлажнения. При ее освоении в результате дополнительного увлажнения возможно возникновение просадочных процессов. При мелиоративных работах, проводимых с целью обводнения и орошения, для ирригационных каналов в указанных просадочных породах потребуются применение гидроизоляции.

Тип 7 — территория мегантиклинория складчато-глыбового строения с развитой системой глубинных разломов, с основным проявлением новейших тектонических поднятий. Здесь развиты породы флишевой, метаморфической, терригенной, карбонатной и эффузивно-осадочной формаций. Флишевая формация представлена чередованием тонких пластов глинистых сланцев, песчаников, аргиллитов и известняков юрско-мелового возраста. Они интенсивно дислоцированы и смяты в складки. Породы слабо водообильны. Терригенная формация состоит из комплекса аспидных глинистых сланцев с редкими прослоями песчаников и известняков юрского возраста. Глинистые сланцы практически безводны, а песчаники водоносны лишь по трещинам. Формации терригенно-карбонатных пород сложены комплексом доломитов, известняков, песчаников, мергелей и глин мелового и палеогенового возраста. Подземные воды заключены в верхней трещиноватой зоне. Карбонатную формацию юрско-мелового возраста слагают известняки с редкими прослоями мергелей и глин, в которых содержат трещинно-карстовые воды. Метаморфическая формация архейского и протерозойского возраста слагается комплексом регионально-метаморфизованных пород морского генезиса и имеет преимущественно терригенный состав. Вулканоогенно-осадочная формация юрского возраста представлена

комплексом порфириров, песчаников, туфов, туфопесчаников и глинистых сланцев. Отложения слабодоносны.

Рельеф территории высокогорный, скалистый с нивально-ледниковым эрозионным расчленением. Современные геологические процессы пользуются широким распространением и активным проявлением, подчиняясь вертикальной климатической зональности, которая характерна для данной территории. Здесь развиты: выветривание, сели, гравитационные, эрозионные процессы на склонах и сейсмичность, оцениваемая в VII—IX баллов.

Освоение территории вызовет необходимость выполнения большого объема работ при ее инженерной подготовке. В связи с этим потребуются: планировка территории, разработка мероприятий по борьбе с возможным возникновением экзогенных процессов с учетом конкретного вида строительства и сейсмички района.

На основе применения метода учета и оценки влияния различных факторов на инженерно-геологические условия представляется возможным выполнить сравнительную оценку этих условий в пределах рассмотренных выше типов по степени освоения территории. Типизация территории позволяет выявить сложность инженерно-геологических условий и определить объемы работ, связанных с инженерной подготовкой территории.

Анализ оценки инженерно-геологических условий выделенных типов территории с рекомендациями перечня важнейших мероприятий позволил выделить территории: со сложными инженерно-геологическими условиями — типы 1, 4 и 7; средней сложности — типы 2, 5 и 6; простыми — тип 3.

А B S T R A C T

An engineering-geological typification or a typification of engineering-geological conditions is a complete stage of the analysis of studying the regularities of the formation of these conditions carried out in regional engineering-geological investigations of the area.

This typification has been worked out by the authors on the basis of the historical-geological approach and the structural-genetic analysis of the area structure which enabled the types of the studies area to be distinguished by the engineering-geological conditions to evaluate their construction development.

The types of the area are distinguished by the engineering-geological conditions taking into account the influence and the role of the most important natural factors formed a given type.

The engineering-geological characteristic of each type of the area is based on evaluating a complex of natural factors with allowance for the landscape-climatic zonation and seismicity.

This has made it possible to approach the evaluation of the areas distinguished by a degree of a relative complexity of engineering development for constructions and their operation.

И.Г. КОРОБАНОВА

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАДИЙ ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРРИГЕННЫХ ОСАДОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Инженерно-геологический анализ стадий постседиментационных изменений терригенных осадочных образований позволил понять природу их прочности, деформируемости, водостойкости, а также выделить стадии и зоны литификации, получить обоснованные критерии для инженерно-геологической типизации пород. Практическая ценность этих вопросов заключается в возможности с их помощью выяснить закономерности размещения в земной коре пород с различными строительными качествами, что позволяет обоснованно и экономически эффективно вести инженерно-геологические изыскания, проектирование и строительство.

Закономерности формирования свойств осадков конечных водоемов стока и особенности ранних их постседиментационных изменений в условиях аридного геосинклинального бассейна были установлены по результатам исследований глинистых отложений Каспийского бассейна третичной и четвертичной седиментации в районе Бакинского архипелага [2].

Условия залегания полифацальных отложений мезозоя Русской платформы в районе Воронежской антеклизы (увеличение мощности осадочного чехла с севера на юг, в направлении Днепровско-Донецкой впадины) послужили основанием при выборе этих пород для анализа постдиагенетических преобразований платформенной терригенной формации гумидной равнины [3].

Позднекатагенетические преобразования пород и их изменение в фазу регрессивного литогенеза и осадочной континентальной склоновой аккумуляции в условиях горно-складчатого рельефа и средиземноморского гумидного климата были установлены при изучении пород терригенного флиша южного берега Крыма [1].

Результаты исследований этих пород позволили установить, что инженерно-геологические их особенности определяются седиментационными признаками и постседиментационными изменениями, а контролируются формационными и фацальными условиями.

Формационный контроль осуществляется прежде всего посредством влияния вещественного состава продуктов денудации, определяемого типом кор выветривания областей водосбора, что связано с условиями в системе "климат—тектонический режим".

Фацальный контроль определяет седиментационные признаки пород, отражается в их литологических типах и соответственно инженерно-геологических особенностях.

Для сходных фацально-литологических типов пород решающая роль в формировании их инженерно-геологических особенностей принадлежит постседиментационным преобразованиям, выражающимся в аутигенном минералообразовании, перераспределении вещества, уплотнении, обезвоживании и цементации.

В ходе потседиментационных преобразований пород была установлена стадийность формирования их инженерно-геологических особенностей, последовательное нарастание интенсивности постседиментационных изменений, связанное с увеличением мощности осадочного чехла и последовательной схемой областей с различной интенсивностью диагенеза и катагенеза. Породы приобретают различные качественные характеристики физического состояния, прочностных свойств, деформационного поведения и водостойкости, т.е. различные инженерно-геологические свойства.

Завершением стадии диагенеза мы предлагаем считать такую степень дегидратированности и уплотненности глинистых пород, когда они теряют свободную и осмотическую воду, что соответствует переходу к стадии замедленного уплотнения и новому качественному состоянию пород — изменению характера структурных связей, резкому нарастанию твердообразных свойств (прочности, упругости).

Несмотря на различную интенсивность вторичных изменений, терригенные отложения мезозоя Русской платформы (при погружении на 500—600 м) и Каспийского бассейна (при погружении на 1200 м) приобретают комплекс признаков (физико-механические свойства, минеральные парагенезы, характер новообразованных минералов), свидетельствующих о том, что степень изменения этих пород не выходит за рамки начального катагенеза.

О стадии начального катагенеза свидетельствует слабо измененное гидрофильное глинистое и органическое вещество. Фациальные типы глинистых пород содержат те аутигенные парагенезы, которые возникли еще в диагенезе, интенсивной региональной цементации как глинистых, так и песчаных пород не происходит. Аргиллитоподобные глины южного крыла Воронежской антеклизы представлены водостойкими, но потенциально набухающими грунтами, т.е. при нарушении жестких цементационных связей они проявляют сильно выраженную склонность к набуханию и утрачивают водостойкость.

Завершением стадии раннего катагенеза мы предлагаем считать такую степень дегидратированности пород, когда в них остаются только прочно-связанные виды воды и отмечается резкое снижение гидрофильности и физико-химической активности пород, что соответствует сплошной региональной литификации, гидрослюдизации глинистых минералов, метаморфизации органического вещества.

Ускорению процессов литификации способствуют дифференциальные тектонические напряжения "стресс".

Породы таврического флиша южного берега Крыма по степени изменения осадочного вещества, структурно-текстурным признакам и физико-механическим свойствам находятся на стадии глубинного (позднего) катагенеза, что выражается прежде всего в сплошной региональной литификации, гидрослюдизации глинистого вещества, метаморфизации органики. Формируются плотные, высокопрочные (предел прочности более 10 МПа), водостойкие породы, с жесткими цементационными и кристаллизационными структурными связями и с чрезвычайно низкой гидрофильностью и физико-химической активностью глинистых фракций. При нару-

шении цементационных структурных связей такие породы не проявляют гидрофильности и не набухают.

В соответствии с составом глинистых минералов, представленных преобразованными процессами глубинного катагенеза, хорошо окристаллизованными, малогидротированными гидрослюдами, близкими по структуре к слюдам мусковитового типа, такие породы при нарушении цементационных структурных связей обладают малой водоудерживающей способностью, слабым межчастичным сцеплением и склонностью к разжижению при сравнительно невысоких абсолютных величинах влажности (10–15%), соответствующих их полному водонасыщению.

Экспериментально установлено, что в горно-складчатых областях южного берега Крыма инженерно-геологические особенности квиважированных пород терригенного флиша в массиве определяются не столько характером и прочностью структурных связей, сколько прочностью и деформируемостью пород в зонах, ослабленных тектонической нарушенностью. Прочность пород по зонам дробления и тектоническим трещинам, выполненным тектонической "глиной трения", падает до сотых долей МПа.

Качественные изменения физико-механических свойств пород могут служить границами зон литификации и соответственно критериями для выделения этапов литогенеза и инженерно-геологических типов пород. При этом для характеристики стадийных изменений глинистых пород наиболее надежными, обоснованными и простыми критериями являются показатели уплотненности и консистенции, так как они имеют определенный физический смысл, отражая степень дегратированности и состояния пород, что соответствует содержанию в них определенных категорий воды. Определяются эти показатели простыми, хорошо разработанными в грунтоведении методами.

Среди субаквальных глинистых отложений было выделено шесть зон литификации и соответственно инженерно-геологических типов пород (таблица).

Темп постседиментационных преобразований пород обуславливает мощность зон литификации и в значительной степени определяется вещественным составом пород, тектоническим режимом седиментации, т.е. скоростью осадконакопления, перерывами в осадконакоплении, а также геологическим временем, что связано с длительностью пребывания пород в тех или иных термодинамических условиях.

Более быстрому темпу литификационного уплотнения и упрочнения глинистых пород мезозоя Русской платформы, по сравнению с глинистыми отложениями Каспия, способствует медленный "платформенный" режим их седиментации. Создаются наиболее благоприятные условия для геохимических преобразований, сопровождающихся миграцией подвижных в диагенезе и катагенезе карбонатов и аморфного кремнезема с образованием участков карбонатизации и окремнения и формированием прочных, водостойких, но потенциально набухающих, аргиллитоподобных пород. Замедленному темпу литификационного уплотнения и упрочнения глинистых отложений Каспия благоприятствовали геосинклинальный характер бассейна и сочетание аридного климата с достаточно интенсивной механической седиментацией.

Инженерно-геологическая типизация субаквальных глинистых образований

Стадии литогенеза	Этапы литогенеза	Зоны литификации	Критерии выделения зон литификации	Инженерно-геологические типы пород
1	2	3	4 5	6
Седиментогенез			Формирование весьма слабых коагуляционных структурных связей	Суспензии
Диагенез	1	1	Переход от скрыто-текучего неуплотненного состояния к мягкопластичному в начальной стадии уплотнения $W_e \approx W_f; K_d \approx 0;$ $B \approx 1$	Предельно слабая степень уплотнения и литификации, весьма высокая гидратированность, рыхлость структуры, весьма слабое межчастичное сцепление коагуляционного характера, повышенная сжимаемость, высокая деформируемость, склонность к разжижению и текучести при нарушении структурных связей $W_e > W_f; K_d \leq 0; B \geq 1; P_m < 0,1 \text{ МПа}$ Слабая степень уплотнения и литификации, мягкопластичное малоуплотненное состояние, слабые коагуляционные структурные связи, низкая прочность, сильная сжимаемость, высокая деформируемость (в пределах нагрузок, не превышающих предела прочности, проявляют большие пластические деформации) $W_e \geq W_f$ и $W_{ММВ}$; $K_d = 0-1; B = 1-0; P_m = 0,1-0,5 \text{ МПа}$
	2	2		
Ранний катагенез	1	3	Переход от мягкопластичного малоуплотненного состояния к тугопластичному средней степени уплотнения $W_e \approx W_f$ и $W_{ММВ}$; $K_d \geq 1; B \leq 0$	Средняя степень уплотнения и литификации, тугопластичное, и средне уплотненное состояние, значительное упрочнение коагуляционных структурных связей, возникновение смешанных коагуляционно-конденсационных межчастичных контактов, средняя степень сжимаемости, выраженная упругость, нарастание прочности, в большом интервале напряжений проявляют склонность к деформациям ползучести, склонны к гидратации и набуханию $W_e \approx W_f$ и $W_{ММВ}$; $K_d \approx 1; B \approx 0; P_m$ до 1,5 МПа

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
	2	4	Переход от тугопластичного среднеуплотненного состояния к сильноуплотненному полутвердому	Высокая степень уплотнения и литификации, полутвердое сильноуплотненное состояние, значительное упрочнение структурных связей конденсационного характера, слабая сжимаемость,
			$W_e \leq W_p$ и W_{MMB} ; $K_d \geq 1$; $B \leq 0$	высокая прочность, выраженная упругость, малая деформируемость $W_e \leq W_p$ и W_{MMB} ; $K_d \geq 1$; $B \leq 0$ Предел прочности при одноосном сжатии (P_m) возрастает до 3 МПа. Очень активно гидратируются и набухают (до 35%), развивая высокие величины давления набухания (до 0,6–0,8 МПа), и размягчаются, часто с полной потерей прочности (неводостойкие). В некотором интервале напряжений, близких к разрушающим, проявляют склонность к деформациям ползучести
	3	5	Переход от сильноуплотненного полутвердого состояния к твердому (цементация). Формирование зон локальной цементации $W_e < W_p$ и W_{MMB} ; $K_d > 1$; $B < 0$	Весьма высокая степень уплотнения и литификации. Твердое сильноуплотненное состояние. $W_e < W_{MMB}$; $K_d > 1$; $B < 0$. Цементационный характер структурных связей, весьма высокая прочность (до 6 МПа), практически не сжимаемые, весьма слабая деформируемость упругого характера, водостойкость, (в воде не гидратируются, не набухают, сохраняют прочность). Глинистые фракции обладают гидрофильностью и физико-химической активностью. При нарушении цементационных структурных связей резко снижают показатели прочности (на сдвиг, одноосное и трехосное сжатие), повышают сжимаемость, проявляют высокую гидратированность – сильно набухают, утрачивают водостойкость (потенциально набухающие)

1	2	3	4	5
Поздний (глубинный) катагенез	1	6	Переход к сплошной региональной цементации, гидро-слюдизация глинистых минералов, снижение гидрофильности и физико-химической активности глинистых фракций $W_e \approx W_{гигр}$	Предельно высокая степень уплотнения и литификации, цементационный характер структурных связей, весьма высокая прочность (свыше 10 МПа), упругость, водостойкость, низкая гидрофильность и физико-химическая активность глинистых фракций. В зонах тектонических нарушений прочность может падать до сотых долей мегапаскаля. При нарушении цементационных структурных связей не проявляют гидрофильности, практически не набухают, но мгновенно размокают и проявляют склонность к текучести. В водонасыщенном состоянии характеризуются высокой деформируемостью и текучестью при весьма малых напряжениях сдвига (доли мегапаскаля)

Прочные, необратимые цементационные связи в глинистых отложениях Каспия формируются на глубинах 550–600 м, для глинистых отложений мезозоя такие изменения наступают на глубинах 200–300 м. Породы приобретают сильную уплотненность, полутвердую и твердую консистенцию, весьма высокую прочность (3–6 МПа), слабую деформируемость и водостойкость. Формируются потенциально набухающие аргиллитоподобные породы.

Наряду с региональными постседиментационными изменениями существуют изменения пород, связанные с локальными факторами, которые могут нарушить общий характер стадийности для отдельных районов. Вторичная цементация аморфным кремнеземом на ранних стадиях формирования пород, в условиях "медленного" платформенного режима седиментации, способствовала сохранению на достаточно больших глубинах (300–450 м) южного и юго-западного крыла Воронежской антеклизы недоуплотненных, но сильно упроченных, потенциально пластичных пород мезозоя.

В том случае, когда первичные седиментационные признаки пород выступают как ведущие факторы формирования их свойств, они могут нарушать вертикальную зональность пород, так как в природе часто на смену общей термодинамической закономерности приходят закономерности формационные и фациальные.

В фазе регрессивного литогенеза происходит разрушение первичных структурных связей и разупрочнение пород. Под влиянием многих переменных факторов континентального литогенеза в процессах вторичной осадочной склоновой аккумуляции формируются вторичные, как правило, менее прочные структурные связи. Характер и различный темп преобразования пород в процессах выветривания, элювообразования, транспортировки и вторичной склоновой осадочной континентальной аккумуляции

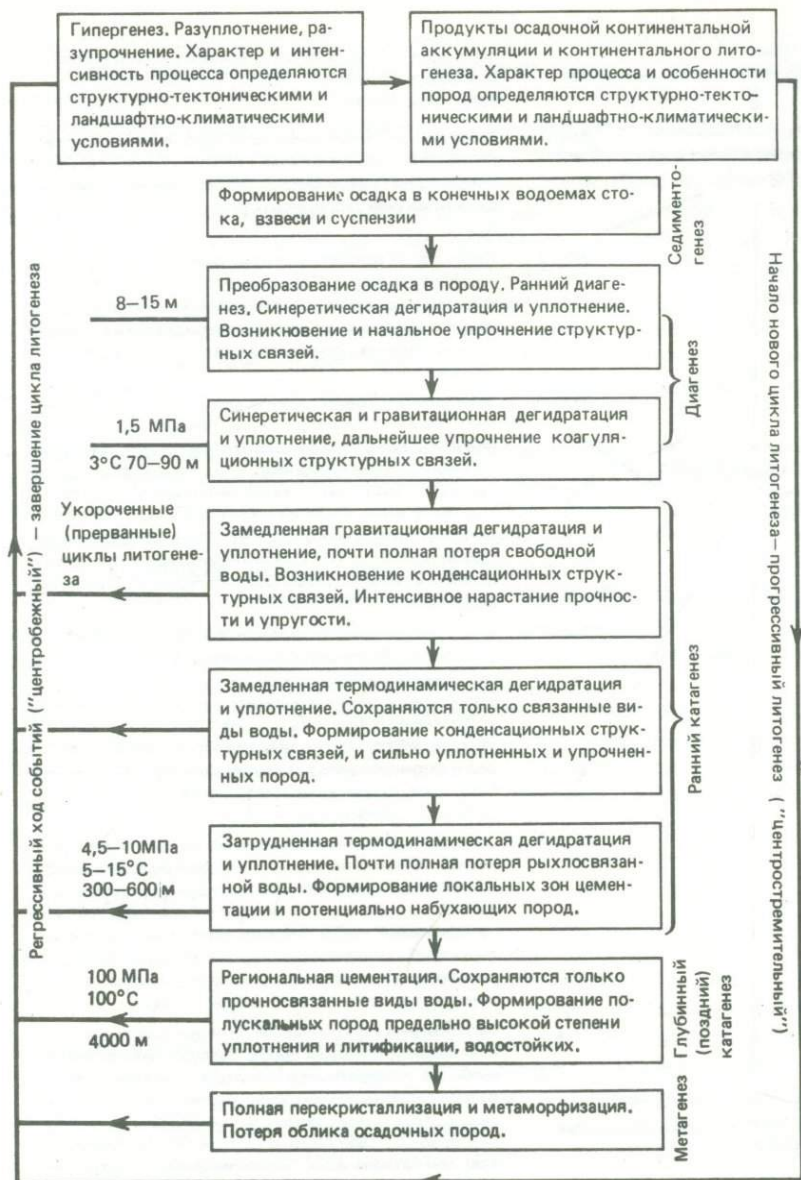
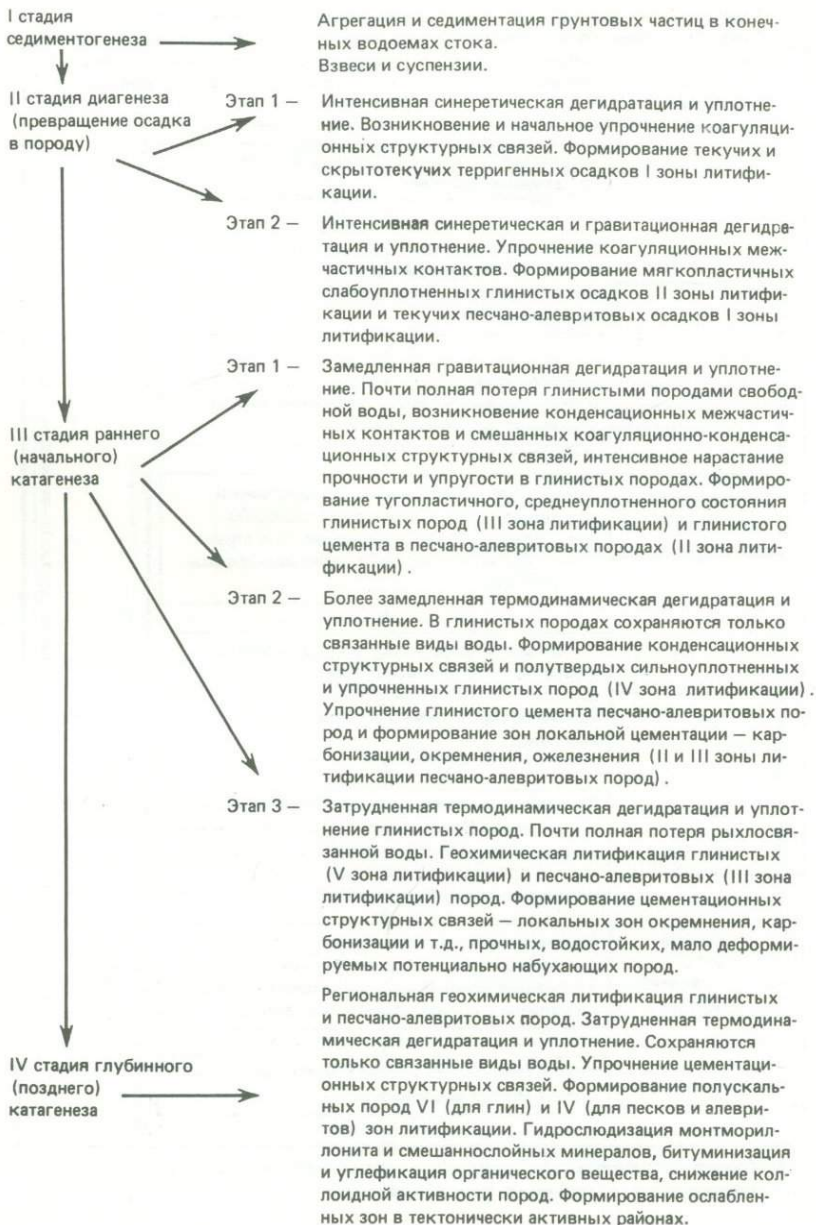


Рис. 1. Схема формирования инженерно-геологических свойств терригенных осадочных образований в процессе литогенеза

лации определяются ландшафтно-климатическими, структурно-тектоническими условиями района и степенью литификации коренных пород, т.е. этапом развития пород, когда ход прогрессивного литогенеза был прерван и они вступили в стадию гипергенеза.

Таким образом, инженерно-геологические свойства пород, сформировавшихся в различных структурно-тектонических и ландшафтно-климатических условиях, в результате преобразования продуктов разрушения



Р и с. 2. Схема эволюции инженерно-геологических свойств терригенных осадочных образований в процессах субаквального прогрессивного литогенеза

пород, сформировавшихся в условиях различного тектонического режима, имеют свои особенности, которые позволяют относить их к различным инженерно-геологическим типам. Например, в горно-складчатых областях южного берега Крыма, в условиях сильно расчлененного рельефа и средиземноморского климата, где элювиальные образования, делювиальные и оползневые накопления склонов являются продуктом главным образом механической дезинтеграции высоколитифицированных пород терригенного флиша, формируются малогидрофильные, не набухающие, не водостойкие крупнообломочные образования с дисперсной песчано-глинистой составляющей, обладающие малой водоудерживающей способностью и слабым межчастичным сцеплением, склонные к разжижению и вязкому течению при сравнительно невысоких абсолютных величинах влажности (10–16%), соответствующих их полному водонасыщению.

На выположенных участках склонов формируются продукты более интенсивной механической дезинтеграции и начальных стадий химического разложения коренных пород, отличающиеся большей гидрофильностью и физико-химической активностью дисперсной составляющей и склонностью к пластическим деформациям типа ползучести.

Выполненные исследования позволили охарактеризовать эволюцию инженерно-геологических особенностей терригенных осадочных образований на протяжении полного цикла литогенеза с привлечением стадийного инженерно-геологического анализа (рис. 1, 2).

Предложенная схема позволяет представить механизм формирования свойств пород и отражает основные тенденции в преобразовании их инженерно-геологических особенностей в ходе осадочного породообразования. Стадийный анализ позволяет предложить наиболее рациональную методику изучения пород с учетом их зональных особенностей.

ABSTRACT

Geological engineering analysis of the postsedimentary changes of certain types of terrigenous sedimentary formations permits to understand the nature of its strength, ability to deform, water resistance, distinguish the stages and progress of lithogenesis, zones of lithifications, and obtain the grounded criteria for geological engineering typization of rocks.

The stages of deformation of geological engineering peculiarities of rocks was established, successive growth of intensity postsedimentary changes, connected with the increase of thickness of sedimentary cover and successive changes of zones with the different intensity of the diagenesis and katagenesis. The rocks obtain different qualitative characteristics of physical conditions, strength property, deformation ability and water resistance, that is different geological engineering qualities.

As the concluding stage of diagenesis we suggest to consider such a degree of dehydrability and compaction of the clay rocks, when they lose free water and loosely bound osmotic water, what corresponds to the transfer towards the new qualitative condition of rocks — change of the character of the structural bonds, sharp increase of strength and elasticity.

The criteria of transfer to the late diagenesis we suggest to consider such a degree of dehydration of rocks, when they keep only strongly bound types of water and sharp decline of hydrophilic and physical-chemical activity of rocks is noted, what corresponds to total regional lithification, hydromicatization of clay minerals, metamorphisation of the organic substance.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов Л.А., Коробанова И.Г., Копылова А.К. Закономерности формирования свойств оползневых отложений. М.: Наука, 1976.
2. Коробова И.Г. Закономерности формирования физико-механических свойств терригенных глинистых отложений. — В кн.: Вопросы инженерной геологии (Доклады советских ученых к Международному конгрессу Международной Ассоциации инженеров-геологов) М.: ВИНТИ, 1970.
3. Коробанова И.Г. Закономерности формирования физико-механических свойств глинистых отложений мезозоя Курской магнитной аномалии. — Докл. АН СССР, т. 196, № 1, 1971.

УДК 624.131.3

Н.А. ПЛАТОВ

ПРИРОДА ПРОЧНОСТИ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ НЕСЦЕМЕНТИРОВАННЫХ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

Несцементированные песчаные грунты имеют широкое распространение на территории Советского Союза, и на них ведется интенсивное строительство. В последние годы строительной практикой выдвинуто ряд серьезных вопросов, свидетельствующих о недостаточной изученности природы прочности структурных связей несцементированных песчаных грунтов и методики ее исследования. Природа структурных связей песчаных грунтов является тем ключом, который позволяет познать закономерности прочностного и деформационного поведения.

Е.М. Сергеев, Г.М. Голодковская, Р.С. Зиангиров и др. считают, что изображение компрессионной кривой в координатах $\epsilon - \lg P$ позволяет определять величину прочности структуры грунта ($P_{СТР}$) по перелому кривой [3]. Величина прочности структуры грунта ($P_{СТР}$) позволяет выделить при уплотнении грунтов два диапазона давлений: когда внешнее давление меньше прочности структурных связей и когда внешнее давление преодолело сопротивление структурных связей. В первом случае происходит незначительное уплотнение грунта, главным образом обратимого характера, а во втором — значительное уплотнение грунта, обуславливающее основные деформации оснований сооружений.

Природная структура грунтов, как отмечает Н.А. Цытович, их состав и состояние в основном и определяют деформационно-прочностные свойства грунтов и их работу как оснований и среды для сооружений, причем весьма важной характеристикой будет структурная прочность грунтов

и устойчивость структурных связей под влиянием внешних воздействий [4].

Под прочностью структуры грунтов М.Н. Гольдштейн понимает сопротивление структурной сетки разрушению [1], которое определяют следующими характерными значениями напряжений: истинным пределом текучести (совпадает с пределом упругости) τ_{k1} ; условной границей, до которой сохраняется начальная (неразрушенная) структура, — начальной структурной прочностью τ_r ; условным (бингамовским) пределом прочности τ_{k2} — начинается лавиннообразное разрушение структуры; пределом структурной вязкости τ_m , начиная с которого имеет место постепенный переход к ньютоновской жидкости; условной границей предельного разрушения структуры (предельной структурной прочностью) τ'_m .

В инженерной геологии и грунтоведении пока слабо выявлены факторы, влияющие на изменение прочности структурных связей песчаных грунтов. В последнее время среди исследователей еще бытует чисто эклектический подход к изучению этого вопроса, выделяя какой-нибудь "главный фактор", ее определяющий, — либо только плотность, либо влажность и др. Такой подход в корне неверный. В настоящее время весьма широкое развитие получил другой подход к изучению данной проблемы — комплексный, т.е. исследователями дается комплексная оценка инженерно-геологических свойств грунтов, характеризующая в целом состав, состояние и свойства пород в естественных условиях и при их изменениях [2]. Данный подход к изучению грунтов наиболее научно обоснован, экономичен и дает более достоверный прогноз поведения их при инженерном воздействии.

Согласно современным представлениям грунтоведения и физико-химической механики прочностные, деформационные и реологические свойства дисперсно-обломочных грунтов обусловлены в совокупности их составом, состоянием, текстурой и структурой, типом преобладающих структурных связей, степенью литификации и режимом деформирования. Следовательно, для получения обоснованного прогноза поведения несцементированных песчаных грунтов при инженерном воздействии необходимо проведение комплексного исследования перечисленных свойств.

Объектами изучения явились несцементированные песчаные грунты различного генезиса четвертичного возраста, образцы которых были отобраны при инженерно-геологических изысканиях: под комплекс сооружений Загорской гидроаккумулятивной электростанции в долине р. Куньи на северном склоне Клиньско-Дмитровской гряды Московской синеклизы — нерасчлененные флювиогляциальные и озерно-ледниковые; под промплощадку Червоноградской обогатительной фабрики на второй надпойменной террасе р. Зап. Буг в юго-восточной части Львовской мульды — аллювиальные; в одном из районов Погруженного склона Балтийского щита — аллювиальные, морские и эоловые; под трассу газопровода в северной половине Западно-Сибирской плиты на второй надпойменной террасе р. Пур — аллювиальные.

По результатам изучения гранулометрического состава можно выделить среди исследованных грунтов три группы: I группа — это однород-

ные грунты, содержащие в составе тонкодисперсную фракцию, обычно менее 1,0% — золовые (г. Энгуре); II группа — это однородные и близкие к ним песчаные грунты, содержащие в составе тонкодисперсную фракцию от 1 до 3% — аллювиальные (г. Сабиле) и морские (г. Энгуре); III группа — это неоднородные грунты, содержащие в составе тонкодисперсную структурообразующую фракцию свыше 3% — нерасчлененные флювиогляциальные и озерно-ледниковые и аллювиальные (г. Львов и вторая надпойменная терраса р. Пур).

Исследованиями морфологических особенностей песчаных частиц установлено, что грунтам I группы характерны округлая и полуокруглая форма частиц и ровный характер поверхности, коэффициент формы 2,63—2,68. Песчаным частицам II группы грунтов свойственна угловатая и полуокруглая форма, имеющие неровную и полуровную поверхность, коэффициент формы изменяется от 1,34 до 1,94. Частицы III группы грунтов имеют полуокруглую и округлую форму, по характеру поверхности они относятся к ровным и полуровным, коэффициент формы их различен: частицы флювиогляциального и озерно-ледникового генезиса имеют 1,57—1,65, аллювиального (г. Львов) 2,65—2,66 и частицы грунтов второй надпойменной террасы р. Пур имеют K_f от 1,54 до 1,72.

Результаты исследования минерального состава тонкопесчаной фракции 0,1—0,25 мм показали, что в основном все образцы песчаных грунтов состоят из минералов легкой фракции: преобладает кварц (75—89%), содержание полевых шпатов колеблется от 12 до 28%, среди минералов грунтов III группы отмечается значительное содержание карбонатов (15—16%). Минералов тяжелой фракции всего лишь 0,3—1,4%, более высокое содержание у образцов песчаных грунтов III группы — 3—4%. В минеральном составе тонкодисперсной фракции грунтов I группы отмечается значительное содержание высокодисперсного кварца, мало минералов гидрослюдистого типа и смешанно-слоистых. Песчаные грунты II группы содержат преимущественно минералы гидрослюдистого типа, минералы группы каолинита, гидроокислы железа, присутствует органическое вещество. В составе грунтов III группы содержится монтмориллонит, много Са-монтмориллонита, иллит, Mg-силикаты, наблюдаются хлорит, гидрослюды, каолинит и гидроокислы железа, присутствует органическое вещество.

Результаты химического состава несцементированных песчаных грунтов показали, что содержание воднорастворимых солей незначительное — от 0,03 до 0,11%. По результатам солянокислых вытяжек содержание полуторных окислов следующее: у образцов грунтов III группы до 0,75%, II группы до 0,12%, совсем мало имеют грунты I группы. По данным щелочных вытяжек грунты I группы содержат аморфного кремнезема до 0,26%, II группы — от 0,26 до 0,39%, а песчаные грунты III группы — до 0,53—0,72%. Наибольшее содержание органического вещества наблюдается у песчаных грунтов II группы (от 0,73%), меньше у грунтов III группы (0,34—0,70%) и наименьшее (до 0,32%) у I группы.

Песчаные несцементированные грунты естественного сложения золового генезиса имеют самые низкие значения прочности по конусу: при естественной влажности (2—5%) менее $160 \cdot 10^2$ Па, при капиллярном

водонасыщении (24–26%) прочность снижается до $70 \cdot 10^2$ Па, а в воздушно-сухом состоянии до $(37–60) \cdot 10^2$ Па. Песчаные грунты II группы аллювиального и морского генезиса при естественной влажности (4–7%) имеют прочность по конусу до $425 \cdot 10^2$ Па, при насыщении водой (22–29%) прочность падает в 1,5–9 раз, в воздушно-сухом состоянии прочность снижается в 2–3 раза. Грунты III группы имеют величины прочности по конусу при естественной влажности (15–18%) до $540 \cdot 10^2$ Па и в водонасыщенном состоянии (20–26%) до $245 \cdot 10^2$ Па, в воздушно-сухом состоянии величина прочности возрастает в 5–10 и более раз до $5,65 \cdot 10^5$ Па.

С механически нарушенным сложением исследованные песчаные грунты имеют следующие характеристики. При естественной влажности, в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях наименьшую прочность по конусу имеют грунты I группы (74–94, 37–58, 14–31 $\cdot 10^2$ Па соответственно). Песчаные грунты II группы имеют следующие величины прочности: 137–229, 44–127, 33–44 $\cdot 10^2$ Па соответственно. Наибольшую прочность имеют грунты III группы (162–384, 63–212, 1130–4100 $\cdot 10^2$ Па соответственно).

Таким образом, исследуемые нецементированные песчаные грунты как при естественном сложении, так и при нарушенном наиболее прочные при естественной влажности, прочность которых обусловлена имеющимися структурными связями, силой внутреннего трения, эффектом зацепления частиц и капиллярным давлением менисков воды. В водонасыщенном состоянии действие менисков воды снимается, а прочность структурных связей песчаных грунтов падает. В воздушно-сухом состоянии наиболее отчетливо проявляется наличие структурообразующих глинистых и органических примесей в песчаных грунтах, существенно повышающих их прочность в этом состоянии. Особенно это заметно у грунтов III группы по сравнению с золовыми песчаными грунтами.

Детальное изучение состава исследованных нецементированных песчаных грунтов, формы и характера поверхности песчаных частиц и прочности их со всей убедительностью показало, что они характеризуются тремя основными типами структурных связей в естественном сложении. В породах золотого происхождения в естественных условиях связность определяют капиллярные силы и литогенетически упрочненные коагуляционные структурные связи. Это упрочнение возникает вследствие "слеживания" частиц породы во времени и физико-химических процессов развивающихся в породах в результате медленно протекающего литогенеза. При увлажнении и подсушивании капиллярные силы снижаются, а коагуляционные связи ослабляются вследствие эффекта понижения прочности их в первом случае и отсутствия развитых коллоидных пленок на поверхности песчаных частиц, которые могли бы оказывать склеивающее действие — во втором. Прочность нарушенных структур при естественной влажности вызвана также действием капиллярных сил и остаточных (диспергационных) коагуляционных связей.

В грунтах морского генезиса наряду с капиллярными силами действуют преимущественно коагуляционные силы, еще более литогене-

тически упрочненные в естественном состоянии, ослабляемые при увлажнении, высушивании и диспергировании механическим путем.

В грунтах аллювиального генезиса II группы связность определяется совокупностью действия капиллярных сил, упрочненных коагуляционных и пластифицированно-коагуляционных структурных связей (в естественных условиях), ослабленных связей при увлажнении и нарушении структуры. Вследствие иного состава и свойств песчаных грунтов, в частности вследствие большего количества тонкодисперсных и коллоидных составляющих, обуславливающих большее число и большую площадь контактов частиц, прочность грунтов II группы существенно превышает прочность грунтов I группы.

Грунты III группы, в которых присутствуют органическое вещество, аморфный кремнезем, полуторные окислы, глинистые минералы (особенно типа монтмориллонита в значительно больших количествах, чем в других грунтах), — отличаются в естественном состоянии наличием капиллярных сил и значительно превышающих их по действию длительно литогенетически упрочненных пластифицированно-коагуляционных структурных связей. В этих грунтах при подсушивании, в отличие от грунтов I и II групп, наблюдается весьма значительное увеличение прочности до $(5-7) \cdot 10^5$ Па.

АБСТРАКТ

Loose sandy soils are widely developed at the territory of the Soviet Union. Investigation of structural bonds nature of sandy soils under different condition and state is of great importance from the point of view of science, theory and practice; that is also important for reliable prognosed behaviour of sandy soils under engineering effect on them. At nature sandy soils are neither loose nor noncoherent but possess considerable strength of structural bonds. A comprehensive estimate of reliable characteristics of strength, deformation and reological properties is necessary for investigation of sandy soils.

The paper is dealt upon basic principles of the Soviet school of genetic soil science and modern ideas of physicochemical mechanics of rocks. It has been probed with a complex of classification indexes that noncoherent sandy soils possess structural bonds of different types.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. М.: Стройиздат, 1973.
2. Горькова И.М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. М.: Стройиздат, 1975.
3. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С. и др. Грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 1973.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1973.

И.С. БОЧАРОВА, Ю.Ф. ЗАХАРОВ

**СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫЕ ГРУНТЫ
РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ
ИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Колебания показателей прочности и деформируемости слабых грунтов обусловлены различиями состава и структуры отдельных разновидностей. При исследовании слаболитифицированных пород особенно важное значение имеет выяснение физико-химической природы структурных связей, определяющих энергию взаимодействия между частицами и агрегатами грунтов и тем самым влияющих на их механические свойства.

Инженерно-геологические свойства грунтов слабой степени уплотнения и литификации исследованы на примере аллювиальных, озерно-аллювиальных, озерно-болотных и субэзральных отложений долинного комплекса Средней Оби. Орографически изученная территория расположена в пределах поймы и сильно заболоченных надпойменных террас и повсеместно покрыта чехлом верхнечетвертичных и современных отложений мощностью до 80 м. Главными особенностями инженерно-геологических условий этого района, определяющими характер изысканий и проектирования, являются высокая обводненность поверхностных отложений и широкое распространение структурно-неустойчивых грунтов различного состава. В ходе застройки дренированных участков, нарушающей природный влажностный режим, все большее развитие получают вторичные слабые грунты, образующиеся при обводнении пород зоны аэрации вследствие подъема уровня грунтовых вод или формирования новых водоносных горизонтов.

Строение аллювиальных, озерно-аллювиальных и озерно-болотных отложений Приобья характеризуется сложной литофациальной изменчивостью. В разрезе этих свит в различном количественном соотношении присутствуют все группы фаций, характерные для долин равнинных рек — русловые, старичные и пойменные.

На дренированных поверхностях надпойменных террас распространены субэзральные образования, представленные лессовидными макропористыми суглинками и супесями, формирующиеся на породах различного генезиса под влиянием процессов выветривания и почвообразования [3].

Обширные пространства надпойменных террас занимают озерно-болотные отложения, представленные в большинстве случаев верховными грядово-мочажинными и грядово-озерными торфяниками с преобладанием слаборазложившихся сфагновых видов торфа.

В табл. 1 приведены показатели физико-механических свойств глинистых грунтов различных аккумулятивных уровней. Современные отложения поймы претерпевают лишь начальные этапы постседиментационного преобразования и характеризуются максимальными значениями влажности, пористости и водонасыщенности. Консистенция этих

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств глинистых грунтов аллювиального и озерно-аллювиального генезиса

Показатели	Пойма, (52) *	I надпой- менная тер- раса (72)	II надпой- менная тер- раса (103)	III надпой- менная тер- раса (51)
Естественная влажность, W , %	$\frac{36,4^{**}}{6,3}$	$\frac{25,7}{5,2}$	$\frac{25,3}{4,5}$	$\frac{25,1}{2,8}$
Предел текучести, W_T , %	$\frac{39,2}{7,6}$	$\frac{31,7}{5,7}$	$\frac{31,9}{5,6}$	$\frac{34,1}{3,1}$
Предел раскатывания, W_p , %	$\frac{21,5}{2,8}$	$\frac{19,4}{2,6}$	$\frac{19,6}{2,3}$	$\frac{18,9}{1,3}$
Число пластичности, M_p , %	$\frac{17,5}{5,0}$	$\frac{12,3}{3,7}$	$\frac{12,3}{3,8}$	$\frac{15,2}{3,1}$
Показатель консистенции, V	$\frac{0,9}{0,4}$	$\frac{0,43}{0,27}$	$\frac{0,47}{0,30}$	$\frac{0,41}{0,15}$
Объемный вес скелета, $\delta_{ск}$, г/см ³	$\frac{1,26}{0,12}$	$\frac{1,56}{0,13}$	$\frac{1,53}{0,11}$	$\frac{1,57}{0,05}$
Коэффициент пористости, ϵ	$\frac{1,162}{0,206}$	$\frac{0,744}{0,167}$	$\frac{0,763}{0,123}$	$\frac{0,715}{0,058}$
Степень влажности, G	$\frac{0,85}{0,11}$	$\frac{0,89}{0,11}$	$\frac{0,89}{0,07}$	$\frac{0,92}{0,07}$
Содержание песчаной фракции (< 0,05), %	$\frac{27,32}{17,82}$	$\frac{22,3}{16,65}$	$\frac{19,76}{20,00}$	$\frac{9,81}{8,45}$
Содержание пылеватой фракции (0,05—0,005), %	$\frac{44,62}{15,75}$	$\frac{48,34}{11,48}$	$\frac{50,96}{13,00}$	$\frac{53,61}{5,08}$
Модуль деформации, E , $1 \cdot 10^5$ Па	$\frac{30}{18}$	$\frac{89}{39}$	$\frac{81}{29}$	$\frac{86}{27}$
Коэффициент трения, $tg \varphi$	$\frac{0,40}{0,06}$	$\frac{0,40}{0,11}$	$\frac{0,44}{0,13}$	$\frac{0,33}{0,08}$
Сцепление, C , $1 \cdot 10^5$ Па	$\frac{0,16}{0,07}$	$\frac{0,27}{0,13}$	$\frac{0,26}{0,16}$	$\frac{0,36}{0,16}$

* Количество исследованных анализов.

** Числитель — средние значения, знаменатель — среднеквадратическое отклонение.

пород чаще всего текучепластичная, встречаются также текучие и тугопластичные разновидности.

Аллювиальные и озерно-аллювиальные глинистые отложения, участвующие в строении I, II и III надпойменных террас, отличаются значительно большей плотностью и имеют преимущественно тугопластичную консистенцию, но встречаются и грунты мягкопластичной консистенции, относящиеся к категории "слабых".

Широкое развитие в составе всех генетических типов поверхностных отложений Приобья слабоуплотненных и малолитифицированных пород обуславливает практически повсеместное распространение структурно-

неустойчивых грунтов различного состава, представленных минеральными, органо-минеральными и органическими породами, образующих покровы или залегающих на глубине в пластах и линзах разнообразной формы.

Слабоуплотненные глинистые грунты представлены пылеватыми суглинками, супесями и легкими глинами, гранулометрический состав которых отличается большой неоднородностью, весьма четко отражая фациальные условия осадконакопления. Региональной особенностью глинистых грунтов Приобья является повышенное содержание пылеватых частиц (до 60%) и агрегированное состояние фракций с диаметром частиц $< 1 \mu$.

По данным иммерсионных исследований глинистые отложения различных аккумулятивных уровней характеризуются близким составом обломочных минералов, представленных кварцем (56,5–76,5%) и полевыми шпатами (23,5–43,0%) с примесью гидратированных зерен биотита и мусковита. Различия в составе песчано-пылеватых фракций поймы и надпойменных террас заключаются в неодинаковом количественном соотношении между отдельными минералами и разным составе акцессорных компонентов. Преобладающими минералами глинистой фракции являются монтмориллонит (36–64%) и гидрослюда (до 50%), в меньшем количестве содержатся каолинит, хлорит, смешанно-слоистые минералы и тонкодисперсный кварц. Отмечается однообразие состава глинистых минералов в разных фациях одного и того же аккумулятивного уровня и, нередко, заметное их отличие в отложениях разновозрастных геолого-генетических комплексов.

Все исследованные породы содержат мало карбонатов и не засолены воднорастворимыми солями. Величина плотного остатка водных вытяжек не превышает 0,05%, а максимальная сумма солей в поровых водах составляет 0,645 мг/л.

При сравнительно близком составе породообразующих минералов породы различных генетических типов и фаций существенно отличаются по концентрации органического вещества, содержанию и минералогическим формам реакционноспособного железа и составу обменных катионов. Именно эти компоненты, являясь элементами структуры или оказывая влияние на поверхностные свойства коллоидно-дисперсных составляющих и природу их взаимодействия, обуславливают формирования различных типов структур с водноколлоидными или цементационными связями.

Структуры первого типа, преимущественно со стабилизационными связями, формируются при незначительном содержании органического вещества, карбонатов, окислов железа и наличии в составе поровых вод гидрокарбонатов и сульфатов Na и K. Преобладание в составе этих пород грубодисперсных (песчано-пылеватых) фракций, характеризующихся ослабленной способностью к структурообразованию, и повышенное сродство к водной среде содержащихся в них минералов монтмориллонитового состава, устойчиво стабилизированных одновалентными катионами и гидрофильными органическими соединениями, обуславливают формирование наименее прочных структур, весьма типичных для

аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений позднечетвертичного возраста. Слабоуплотненные водонасыщенные разновидности пород с подобными структурами отличаются высокой деформируемостью. Под влиянием даже слабых динамических воздействий они резко снижают свою несущую способность, дилатантно разжижаются и нередко проявляют плавунные свойства. На территориях, сложенных этими грунтами, при нарушении растительного покрова интенсивно развиваются эрозионные процессы.

Глинистые грунты со смешанными коагуляционно-цементационными связями образуются в присутствии достаточно высокого содержания гидроокислов железа (более 1,5%). Цементированные дегидратированными гелями окислов железа грунты отличаются повышенной прочностью и водоустойчивостью в условиях окислительной среды. Однако при развитии восстановительных условий образованные окислами Fe полимеризационные связи сравнительно быстро разрушаются вследствие трансформации соединений окисного железа в подвижную закисную форму, что ведет к общему снижению прочности грунтов.

Различие структурных связей является одной из основных причин, обуславливающих отсутствие достаточно тесных корреляционных зависимостей между показателями физических и механических свойств слабых грунтов, что было установлено результатами статистического анализа, и объясняет чрезвычайно большой разброс количественных характеристик этих свойств.

Ведущим фактором в формировании структурно-механических свойств слаболигифицированных грунтов различных генетических типов является органическое вещество. Органические и органо-минеральные соединения, по сравнению с минеральной частью пород, обладают значительно большей обменной емкостью, гидрофильностью и способностью к межмолекулярному взаимодействию с образованием водородных, гетерополярных, комплексно-гетерополярных и других химических связей. Данные статистической обработки показали, что присутствие этих веществ отражается как на средних значениях и дисперсиях показателей состояния и механических свойств грунтов, так и на характере взаимосвязей между ними.

Органо-минеральные грунты исследованного района представлены озерными и старичными отложениями сравнительно мелководных, преимущественно изолированных от русла водоемов. Образование этих пород соответствует стадиям заиливания водоемов и зарастания их наземной растительностью, поэтому в вертикальном разрезе органо-минеральные осадки нередко замещаются торфами. Отложения подобных фаций отличаются линзовидным залеганием, невыдержанной мощностью, высокой изменчивостью состава и свойств вследствие неравномерного распределения в породах органического вещества, основная масса которого находится в гумифицированном состоянии.

По данным анализа группового состава гумуса, его основная часть представлена фульвокислотами и бурыми фракциями гуминовых кислот, преимущественно связанных посредством комплексно-гетерополярных связей с железом и алюминием.

Таблица 2

Связь между концентрацией органического вещества и свойствами грунтов

Показатель свойства	W	W_T	W_D	μ_n	σ_y	$\sigma_{ск}$	ϵ	E_0	$tg\varphi$	C
Корреляционное отношение показателя с содержанием $C_{орг}$	0,91	0,88	0,77	0,88	0,75	0,72	0,81	0,48	0,34	0,18

Влияние органического вещества на структуру глинистых пород зависит от его количества, группового состава и природы взаимодействия органических компонентов с минеральной частью грунтов [2]. Количественно это влияние было исследовано с помощью методов многомерного корреляционного анализа, включающего изучение парных и множественных зависимостей между показателями физических и механических свойств этих грунтов с целью выбора наиболее информативных показателей для построения многомерных уравнений.

Анализ результатов выявил наличие более тесной взаимосвязи между концентрацией органического вещества и характеристиками физических свойств грунтов, приведенными в табл. 2.

Связь между концентрацией органического вещества, влажностью и плотностью грунтов обусловлена способностью молекул гумусовых веществ и их ассоциатов образовывать рыхлые влагоемкие структуры с большим количеством влаги, иммобилизованной в ультрапорах структурного каркаса. Практически все показатели физических свойств органоминеральных грунтов связаны с концентрацией гумуса линейными, или близкими к линейным, зависимостями. В то же время связи органического вещества с характеристиками механических свойств явно не линейны и достаточно хорошо аппроксимируются гиперболическими функциями.

Слабые органические грунты представлены торфами, значительно реже — сапропелями. По современным представлениям торфа являются полидисперсными многокомпонентными органическими системами, структуру которых образуют переплетения остатков растений торфообразователей и надмолекулярные комплексы продуктов их распада (битумов, гумусовых и индивидуальных органических веществ). Высокая влагоемкость торфяных грунтов обусловлена гидрофильностью входящих в их состав органических соединений, наличием внутриклеточной воды растительных волокон и большого количества иммобилизованной, структурно захваченной и капиллярной влаги.

Прочность структуры торфа зависит от степени разложения растительных остатков, плотности их упаковки, а также характера межагрегатных, внутриагрегатных и молекулярных связей, основу взаимодействия которых образуют водородные, гетерополярные, комплексно-гетерополярные и другие виды связей [4]. Торфяные грунты отличаются максимальными значениями влажности (до 1200%), минимальной плотностью и

Таблица 3

Характер уравнений регрессии прогноза параметров сдвига

Прогнозируемый показатель	Число наблюдений	Уравнения регрессии
Грунты с содержанием органического вещества < 3%		
E_0	13	$E_0 = 7,38 + 33,93\gamma_s + 0,47W - 0,98W_T$
$\text{tg } \varphi$	12	$\text{tg } \varphi = 0,671 - 0,004W_T - 0,145G + 0,001 d_{гп}$
C	12	$C = 0,743 + 0,006\gamma_s + 0,001W + 0,474W_T$
Грунты с содержанием органического вещества от 3 до 50%		
E_0	91	$E_0 = 7,2 \cdot e^{75,44\gamma_s}$
$\text{tg } \varphi$	89	$\text{tg } \varphi = 0,382 + \frac{1,163}{W} + \frac{0,016}{C_{орг}}$
C	89	$C = 0,235 - 0,004e^{0,207\gamma_s} - \frac{4,185}{W} - \frac{3,237}{W_T}$

наиболее низкими значениями параметров сдвига. Характерной особенностью торфов является высокая и неравномерная сжимаемость, доходящая до 50—70% от высоты уплотняемого слоя, а также длительность процесса консолидации при действии внешней нагрузки. Установлены весьма тесные корреляционные связи между механическими свойствами торфов и их степенью волокнистости, влажностью, плотностью, составом растений торфообразования и химическим составом минеральных примесей [1].

В отличие от торфов сапропели являются преимущественно высокодисперсными системами. В районе Приобья эти осадки встречаются в основании болот в виде незначительных по мощности прослоек и линз. В условиях естественного залегания они находятся в жидкообразном состоянии и в качестве оснований сооружений практически никогда не используются.

Для эффективного использования слабых грунтов в качестве оснований сооружений необходимо комплексное, всестороннее изучение их состава и инженерно-геологических свойств, а также прогноз изменения этих свойств в обстановке, создаваемой строительством с учетом изменения влажности режима, физико-химической среды и поведения грунта в условиях сложноподвижного состояния на различных этапах его консолидации под нагрузкой.

В целях предварительной оценки строительных свойств целесообразно использовать частные и региональные классификации с таблицами нормативных характеристик физико-механических свойств грунтов или уравнения регрессии, позволяющие прогнозировать показатели прочности и деформируемости по значениям косвенных показателей.

Анализ регрессионных зависимостей между показателями состава и физико-механических свойств грунтов Приобья показал, что характер

Среднее значение, G	Стандарт, S_y	Стандартная ошибка прогноза, S	Множественный коэффициент корреляции, R
Грунты с содержанием органического вещества < 3%			
33	16	14	0,40
0,39	0,05	0,04	0,47
0,13	0,04	0,03	0,51
Грунты с содержанием органического вещества от 3 до 50%			
48	43	28	0,75
0,44	0,12	0,09	0,68
0,28	0,15	0,14	0,32

прогнозирующих уравнений в грунтах, отличающихся повышенным содержанием органического вещества, и в грунтах с малым содержанием различен. Для прогноза модуля деформации (E_0) малогумусированных грунтов целесообразно использовать простые линейные уравнения с объемным весом скелета, а при неполном водонасыщении — с влажностью и пределом текучести в качестве аргументов. Нелинейные аппроксимации точности прогноза не повышают. При проведении статистической обработки необходим учет особенностей состава и характера структурных связей, без чего точность математического прогнозирования невелика. Для прогноза E_0 органоминеральных грунтов в уравнение целесообразно включать концентрацию органического вещества ($C_{орг}$).

Оптимальные уравнения регрессии для прогноза параметров сдвига включают в качестве аргументов содержание глинистых частиц, степень влажности, верхний предел и число пластичности, концентрацию органического вещества. Некоторые наиболее оптимальные уравнения приведены в табл. 3.

Достоверная оценка прочности и деформируемости слабых грунтов может быть получена при рациональном сочетании полевых и лабораторных методов. Различия состава и структуры этих пород создают необходимость дифференцированного подхода при выборе методики и назначения объема испытаний с учетом специфических свойств отдельных разновидностей. В связи со значительной изменчивостью дисперсности и структуры этих грунтов, что особенно характерно для органических и органо-минеральных отложений, целесообразно увеличение количества разведочных выработок и широкое использование методов оценки физико-механических свойств грунтов в условиях природного залегания (зондирование, вращательный срез, геофизические методы). Отбор монолитов для лабораторных исследований необходимо проводить, учитывая

данные зондировочных испытаний из каждого слоя, способного оказать влияние на устойчивость проектируемого сооружения.

В программу лабораторных исследований необходимо включить определение содержания карбонатов, органического вещества и состава обменных катионов, кроме того, при изучении торфов — зольность и степень разложения. Для оценки коррозионных свойств органо-минеральных пород дополнительно определяют рН, содержание фульвокислот и гуминовых кислот.

Показатели прочности и деформируемости слабых грунтов являются переменными величинами и зависят от величины действующей нагрузки, режима ее приложения, условий дренирования и т.д., поэтому методика испытаний должна по возможности адекватно отражать работу грунтов в основании сооружений и назначаться с учетом инженерных задач, при решении которых эти характеристики используются.

Применение прогрессивных методов расчета требует определения, кроме общепринятых, некоторых дополнительных параметров сжимаемости грунтов — структурной прочности, начального градиента напора, показателей первичной (C_0) и вторичной консолидации (C_a).

Водонасыщенные разновидности глинистых грунтов (особенно пылеватые) целесообразно испытывать как при статических, так и при динамических нагрузках, моделируя условия напряженного состояния и режима приложения механических воздействий. Для прогнозирования изменения прочности грунтов в процессе консолидации определение сопротивления сдвигу рекомендуется проводить по методике плотности-влажности.

ABSTRACT

The research of sublithified clayey soils shows a considerable variation of strength and deformation characteristics of these soils; this fact is conditioned by different composition and structure of each soil variety.

An effect of composition and structure of the engineering-geological properties of sublithified soils is investigated on the example of alluvial, lacustrine-alluvial and subaerial deposits of a valley complex of the Middle Ob presented by silty loam and clay with different content of organic matter.

Results of long-term investigations showed that clayey deposits of different types or facies and similar composition of rock-forming minerals differ to great extent by the content of organic matter (from 0.50% to 60%), number and mineralogical forms of reactive iron (up to 6–8%) as well as by composition of exchange cations. Just these components effecting the surficial characteristics of colloidal-disperse constituents and the nature of their interaction cause the forming of structures with aqueous-colloidal or cementing bonds.

It follows from the analysis of correlative relations between characteristics of physical and mechanical properties of soils that a character of prognosis equations depends on peculiarities of soil composition. For prognosis of a deformation (E_0) of the soils with the content of organic

matter at least 3% it is advisable to use simple linear equations with dry unit weight and under partial saturation with the moisture content and liquid limit as arguments. An equation for organic-and-mineral soils should carry an index characterizing the concentration of organic matter. Interaction of the latter with characteristics of mechanical properties is non-linear and is well estimated by hyperbolic functions.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Амарян Л.С., Королев А.С., Трофимов В.Л.* Исследование физико-механических свойств болотных грунтов Среднего Приобья. — В кн.: Материалы к первой Всесоюзной конференции по строительству на торфяных грунтах. Калинин: НТО, 1972, ч. 1.
2. *Бочарова И.С.* Рассеянное органическое вещество и его влияние на характерные свойства глинистых отложений. — В кн.: Глины, их минералогия, свойства и практическое значение. М.: Наука, 1970.
3. *Горькова И.М.* Структурные и деформационные особенности осадочных пород различной степени уплотнения и литификации. М.: Наука, 1965.
4. *Лиштван И.И.* Физико-химическая природа торфа. — В кн.: Материалы к Первой Всесоюзной конференции по строительству на торфяных грунтах. Калинин: НТО, 1972, ч. 1.

УДК. 624.131.536

Л.И. КУЛЬЧИЦКИЙ

АНИЗОТРОПИЯ СДВИГОВОЙ ПРОЧНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

В реологии глин все большее развитие получает микрореология, позволяющая изучать физическую природу явлений, лежащих в основе реологических свойств глин (ползучесть, релаксация напряжений и снижение прочности при длительном воздействии сдвигающих нагрузок).

Настоящая работа посвящена исследованию природы анизотропии сдвиговой прочности водонасыщенных глин и ее значению в закономерностях длительной прочности глинистых грунтов. Такой подход к исследованию реологических свойств глин осуществлен впервые. Имеющиеся литературные данные в области исследования анизотропии прочности глин не затрагивают обычно изучения природы этого явления. Основная часть работ по анизотропии глин посвящена разработке методов количественной оценки глинистых текстур. Для этого были привлечены различные методы исследования: рентгеновский анализ (Ц.М. Райтбурд, В.В. Пономарев, И.С. Чаленко, Т.Б. Эдил и Р.Ю. Крайзек, В.Ф. Котлов и др.); оптические методы (И.В. Попов, А.М. Царева, В.С. Шibaкова, Т.Т. Клубова, А.Я. Туровская, В.К. Муравьев и др.); электронноскопические методы (Г.Г. Ильинская, Р.В. Максимаек, Р.А. Бочко и др.); метод магнитной анизотропии (Ю.Б. Осипов, Б.А. Соколов). Целью всех этих исследований, помимо разработки самих методов, являлось изучение текстур глин различного генезиса, классифика-

ция текстур, изучение изменения текстур в процессах деформаций сжатия и сдвига глин, нахождения взаимосвязи между текстурными особенностями глин и их прочностными свойствами [1, 2, 9, 10, 11, 13, 14 и др.]. Однако недостаточность работ, посвященных исследованию природы трения в водонасыщенных пластичных глинах, затрудняла до сих пор разработку объективной методологии изучения анизотропии сдвиговой прочности глин. Мнения различных исследователей о зависимости напряжения сдвига в функции вертикальной нагрузки $\tau(P)$ для анизотропных глин часто расходятся [1, 9, 10, 13, 14].

Изучение анизотропии сдвиговой прочности водонасыщенных глин проводилось как на мономинеральных, моноионных глинистых пастах, уплотненных различными нагрузками P_n в пределах от 1 до 3,2 МПа, так и на полиминеральных глинах естественной структуры. Подготовка глинистых паст осуществлялась сначала путем центрифугирования соответствующих катионзамещенных и диализованных суспензий, а затем путем уплотнения центрифугатов в пресс-формах из оргстекла ступенчато возрастающими нагрузками от 0,01 до 3,2 МПа [7]. Под последней уплотняющей нагрузкой P_n паста выдерживалась не менее 1,5–2 мес, когда суточные деформации составляли менее 0,005 мм.

Зависимость между напряжением сдвига и вертикальной нагрузкой $\tau(P)$ для переуплотненных микрослоистых глин естественной структуры, свойства и состояние которых представлены в табл. 1, и мономинеральных уплотненных паст изучалась с помощью сдвигового срезного прибора ВСВ-25 с приставкой, обеспечивающей скорость деформирования от $2 \cdot 10^{-2}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ см/сек. Испытывались цилиндрические образцы с площадью сечения 24 и 12 см².

Изучение анизотропии сдвиговой прочности глин проводилось в развитие исследований ряда работ [1, 2, 9, 10, 11, 13, 14, 15]. Интерпретация экспериментальных данных при исследовании зависимости $\tau(P)$ для анизотропных глин проводилась на основе двучленного закона сдвиговой прочности пластичных тел Дерягина [5, 6]. Согласно Б.В. Дерягину [5], скольжение по плоскостям скольжения, развивающимся в процессе пластической деформации пластичного тела, по своему молекулярному механизму аналогично скольжению при внешнем трении. В частности, в теории трения к внутренним скольжениям применим двучленный закон сдвиговой прочности

$$\tau = \mu (P + P_0), \quad (1)$$

где μ — истинный коэффициент трения, т.е. коэффициент с учетом молекулярного взаимодействия; P — давление, действующее на плоскость скольжения перпендикулярно к ней; P_0 — равнодействующая сил притяжения микрообъектов, отнесенная к единице площади поперечного сечения, или адгезионная прочность; τ — прочность тела на сдвиг.

Формула (1) отражает связь трения с взаимодействием дисперсных частиц, если применить ее для глинистой системы. Однако эта связь неоднозначная. При оценке истинной величины P_0 необходимо принимать во внимание как среднюю прочность контакта двух частиц, так и площадь контактов S_0 , которая в дисперсных системах гораздо меньше площади

Т а б л и ц а 1

Характеристика состава и состояния исследованных водонасыщенных глин

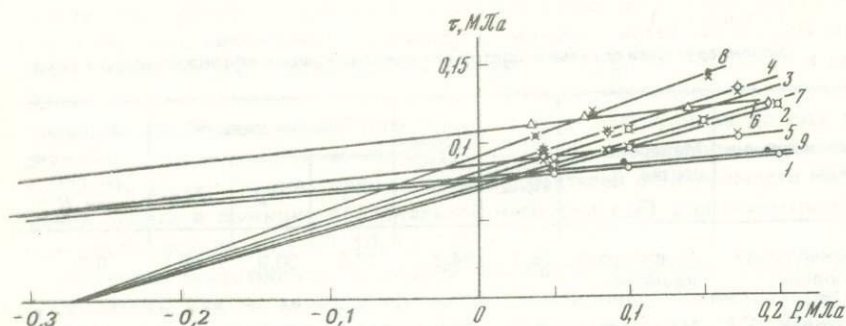
Наименование глины	Минеральный состав	Влажность, W , %	Пористость, n , %	Пластичность, %			Показатель консистенции, B
				W_T	W_P	W_M	
Юрская глина, г. Брянск, гл. 65 м	Гидрослюда, каолинит	29,3	44,2	77,0	30,9	46,1	0,0
Бентонит, г. Герпегеж, гл. 1 м	Монтмориллонит, гидрослюда, каолинит (оч. мало)	36,2	50,0	110,0	47,5	62,5	-0,18
Аскангель, Цихис-Убанское месторождение, ГрузССР (паста уплотнена $P_n = 0,45$ МПа)	Монтмориллонит	68,3	64,9	102,0	64,0	38,0	0,12
Каолин просняновский, УССР (паста уплотнена $P_n = 0,15$ МПа)	Каолинит	40,8	52,5	57,5	30,9	26,6	0,37

поперечного сечения испытуемого образца, а для ориентированных в пространстве анизодиаметричных глинистых частиц, кроме того, зависит от углов между поверхностью напластования и направлением сдвигающей нагрузки. Обозначая через ρ_0 силу притяжения частиц, отнесенную к единице площади их контакта, формулу (1) запишем

$$\tau = \mu(\rho_0 S_0 + P). \quad (2)$$

Как следует из выражения (2), изучая сдвиговые деформации анизотропных водонасыщенных глин, можно получить информацию об их структуре и степени упорядоченности в пространстве глинистых частиц, что представляет интерес при исследовании вопроса длительной прочности глин, претерпевающих переориентацию частиц в процессе ползучести. Поэтому при исследовании в данной работе вопросов анизотропии сдвиговой прочности и длительной прочности пластичных глин был использован именно двучленный закон сдвиговой прочности Дерягина [5]. Практическое же сохранение постоянства площади контакта испытуемых глин в каждой серии испытаний при заданной величине угла между плоскостью напластования и плоскостью сдвига (угол α) достигалось путем сдвиговых испытаний так называемых переуплотненных глин, т.е. при нагрузках P , меньших нагрузки предварительного уплотнения P_n .

Сдвиговые испытания анизотропных микрослоистых глин проводились при скорости среза $2 \cdot 10^{-2}$ см/сек при значениях $\alpha - 0^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 60^\circ$,



Р и с. 1. Зависимость сдвиговой прочности уплотненной глинистой пасты (аскангеля) от внешней нагрузки при различной ее ориентации в пространстве

1 - $\alpha = 0^\circ$; 2 - $\alpha = 90^\circ$; 3 - $\tau \parallel Oz$; $P \perp Oz$; 4 - $\alpha = 60^\circ$; 5 - $\alpha = 30^\circ$; 6 - $\alpha = 45^\circ$; 7 - $\alpha = 75^\circ$; 8 - $\alpha = 50^\circ$; 9 - $\alpha = 15^\circ$

90° . Напряжение сдвига всегда прикладывали в направлении, перпендикулярном действию силы P . Площадь среза образцов 12 см^2 . Исследования проводились с пятикратной повторностью при трех или четырех значениях P .

Проявление анизотропии сдвиговой прочности одной из исследованных глин показано на рис. 1. При сдвиге вдоль плоскости напластования действие внешней нагрузки проявляется слабо — прямая обнаруживает незначительный наклон к оси абсцисс, отсекая на ней отрезок, соответствующий величине P_0 , равной $1,04 \text{ МПа}$. Изменение направления действия нормальных и тангенциальных сил относительно плоскости напластования обуславливает более или менее выраженное возрастание коэффициента истинного трения и, наоборот, уменьшение адгезионной прочности P_0 . Аналогичные результаты получены при исследовании других образцов уплотненных глинистых паст, а также образцов глин естественной структуры (см. табл. 1). Полученные здесь и ранее [8] данные позволяют предположить, что анизотропия сдвиговой прочности глин в общем случае определяется двумя основными факторами: величиной площади контакта частиц, которая изменяется с изменением угла наклона плоскости сдвига к плоскости напластования (угла α); поверхностными силами взаимодействия глинистых частиц вследствие различия в энергиях связи поверхностей базисов и сколов.

Будем считать, что оси x и y лежат в плоскости, параллельной плоскости напластования (или поверхности базисов), а ось z перпендикулярна ей. На рис. 2 схематично показаны возможные траектории перемещения глинистых частиц при сдвиговых деформациях в плоскостях xOy , xOz и yOz .

Относительное перемещение частиц в плоскостях xOz и yOz (рис. 2, б, в) характеризуется постоянством значений адгезионной прочности P_0 [7], поскольку при таких направлениях сдвига происходит нарушение связей между одними и теми же микрообъектами. Вместе с тем деформации, сопровождаемые перемещением частиц вдоль поверхности

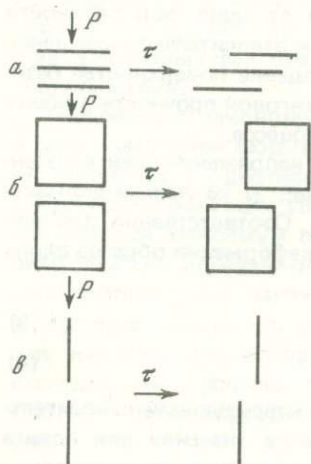
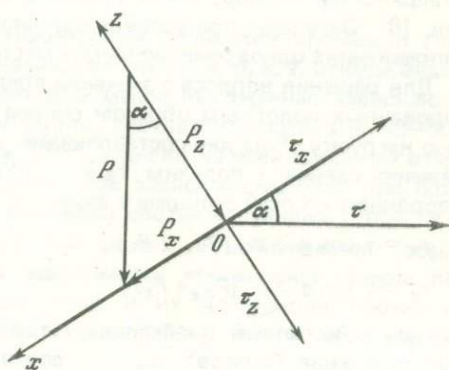


Рис. 2. Схемы взаимного перемещения частиц глины при сдвиге в направлении координатных осей

Рис. 3. Схема к расчету сдвиговой прочности глин при произвольной ориентации плоскости напластования (двумерный случай)



сколов (рис. 2, б), соответствуют большему периоду неоднородности силового поля по сравнению с периодом неоднородности для перемещения частиц поперек поверхности сколов (рис. 2, в). Следовательно, в обоих случаях существенно различаются коэффициенты истинного трения. Опыт подтвердил это. Оказалось, что чем более уплотнена глина и чем меньше, следовательно, величина показателя консистенции (см. табл. 1), тем более различаются между собой величины μ , характеризующие деформации типа б и в (см. рис. 2). Так, для наиболее уплотненного герпегежского бентонита величины μ при деформациях типа б и в соответственно составляют 0,51 и 0,32, для менее уплотненной юрской глины — соответственно 0,29 и 0,24, а для пасты аскангеля — 0,30 и 0,26. Однако величины μ при деформациях типа б и в (см. рис. 2) значительно превосходят во всех случаях величину μ , отвечающую сдвигу друг относительно друга базисных поверхностей (рис. 2, а), равную $\sim 0,08$. Это видно при сравнении прямых 1, 2, 3 (см. рис. 1), а также показано ранее в [8]. Подобная закономерность обусловлена тем, что внешняя нагрузка P_z , приложенная тангенциально поверхности базисов, воспринимается контактами, суммарная площадь которых гораздо меньше площади поперечного сечения. Таким образом, сравнительно малое увеличение нагрузки на образец может вызвать существенное возрастание контактных давлений и обуславливать резкое повышение сдвиговой прочности.

Более сложные явления происходят при деформации образцов с произвольной ориентацией напластования в пространстве. Рассмотрим наиболее простой случай, когда плоскость напластования повернута относительно какой-либо оси (например, оси Oy) на угол α (рис. 3). При этом с учетом разложения на составляющие нормальных и тангенциальных сил, дей-

ствующих на образец, а также в зависимости от сдвиговой прочности в направлении координатных осей возможно как относительное смещение поверхностей сколов, так и относительное смещение поверхностей базисов [8]. Очевидно, при условии одинаковой сдвиговой прочности в обоих направлениях одновременно имеют место оба процесса.

Для решения вопроса о значении предельных напряжений сдвига ориентированных подобным образом систем (см. рис. 3) разложим нормальную нагрузку P на две составляющие P_x и P_z . Соответственно для напряжений сдвига τ получим τ_x и τ_z^1 . Условия деформации образца вдоль координатных осей запишем в виде

$$\tau_x = \tau \cos \alpha > \mu_x (P_{0z} + P_z), \quad (3)$$

$$\tau_z = \tau \sin \alpha > \mu_z (P_{0x} + P_x), \quad (4)$$

где μ_x — истинный коэффициент трения, характеризующий относительное смещение базисов; μ_z — соответствующее значение для сдвига вдоль оси z ; P_{0x} и P_{0z} — адгезионная прочность образца в направлении осей x и z .

Для нахождения величин произведений в правых частях неравенств (3) и (4) можно воспользоваться зависимостями $\tau(P)$, построенными для углов α , равных 0° и 90° . Очевидно, сдвиговые деформации будут происходить, если окажется выполненным одно из неравенств. В случае, когда

$$\tau_x \leq \mu_x (P_{0z} + P_z),$$

$$\tau_z > \mu_z (P_{0x} + P_x), \quad (5)$$

перемещение частиц при сдвиге происходит за счет относительного смещения поверхностей сколов глинистых частиц. Для

$$\tau_x > \mu_x (P_{0z} + P_z),$$

$$\tau_z \leq \mu_z (P_{0x} + P_x) \quad (6)$$

характерно относительное смещение базисов друг относительно друга при неизменном положении сколов соседних частиц.

Вычисленные таким образом значения предельных напряжений сдвига при различных углах поворота плоскости напластования относительно направления действия внешней нагрузки представлены на рис. 1. Здесь, как и для всех остальных исследованных глин, прямые $\tau(P)$, соответствующие углам α (0° и 90°), определялись только экспериментально; прямые, соответствующие углам $\alpha = 30^\circ, 50^\circ, 60^\circ$, определялись экспериментально и расчетным путем по схеме рис. 3, а часть прямых ($\alpha = 15^\circ, 45^\circ, 75^\circ$) — только расчетным путем. Наблюдаемое весьма хорошее согласие экспериментальных и расчетных данных (прямые 4, 5, 8 на рис. 1; крестиками показаны экспериментально полученные точки) позволяет сделать вывод о справедливости предложенной расчетной схемы. Следует обратить внимание на то, что и расчетный метод, и эксперимент показали, что сдвиговая прочность при углах $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ может быть выше

¹ Угол между векторами \vec{P} и $\vec{\tau}$ в общем случае может быть произвольным.

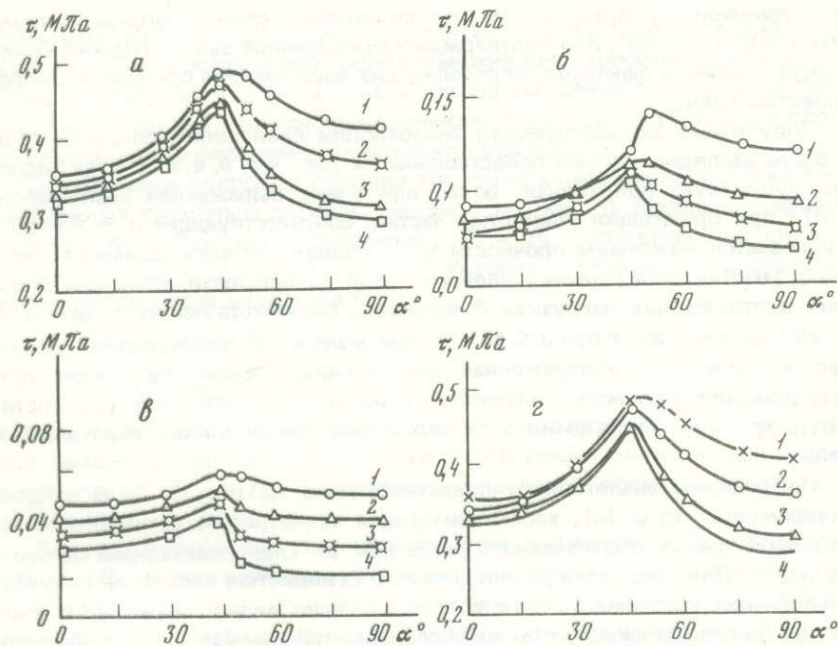
по сравнению с предельными напряжениями сдвига, определенными при $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$. Это подтверждает высказанное выше предположение о двух основных факторах, определяющих анизотропию прочности микрослоистых глин.

Полученные закономерности анизотропии сдвиговой прочности глин в более наглядной форме представлены на рис. 4, а, б, в, г, откуда видно, что существует однотипная, более или менее выраженная зависимость $\tau(\alpha)$: при ориентации глинистых частиц, соответствующей $\alpha \approx 45-50^\circ$, наблюдается максимум прочности τ^{\max} . Однако на всех графиках отчетливо заметна определенная инверсия этой зависимости. Если при больших вертикальных нагрузках P величины соответствующих τ при $\alpha > 45^\circ$ превосходят τ при $\alpha < 45^\circ$, то при малых P наблюдается обратная картина. Эта обнаруженная зависимость чрезвычайно важна при исследовании процесса ползучести глин и их длительной прочности. Поэтому при обсуждении этих вопросов ниже вновь обратимся к ней.

По данным, аналогичным представленным на рис. 1, была найдена зависимость $\operatorname{tg} \varphi(\alpha)$, характеризующая анизотропию истинного коэффициента трения, обозначенного ранее как μ . Она представлена частично на рис. 5. Для уплотненных анизотропных глинистых паст была получена аналогичная зависимость. Это достаточно ясно видно из рис. 1. В литературе по глинам имеются также экспериментальные данные зависимости $\tau(\alpha)$ и $\operatorname{tg} \varphi(\alpha)$, например [1, 9, 10]. Однако результаты различных исследователей довольно значительно расходятся. Одни из них не обнаружили экстремальный характер зависимости [9, 10]; другие, хотя и обнаружили его для $\tau(\alpha)$, но не объяснили и не придали этому значения (Л. Бьеррум, С. Сойдемир в [1]). Это несогласие в данных различных исследователей можно объяснить различным методологическим и теоретическим подходом к решению этого вопроса и практически полным отсутствием исследований в области микрореологии глинистых систем и развития теории трения в глинах.

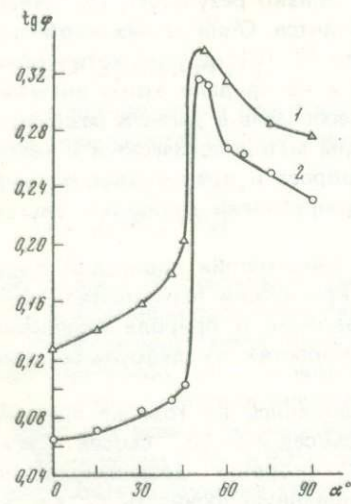
Полученные результаты исследования анизотропии сдвиговой прочности водонасыщенных глин позволили критически пересмотреть, развить и дополнить существующие представления о природе изменения сдвиговой прочности глин при малых скоростях их деформирования и процесса ползучести глин.

Медленные сдвиговые испытания проводились на том же срезном приборе ВСВ-25 со скоростями $8,8 \cdot 10^{-4}$ см/сек и $5 \cdot 10^{-6}$ см/сек. Сдвиговая же прочность, полученная при скорости деформирования $2 \cdot 10^{-2}$ см/сек, принималась за условно-мгновенную прочность τ_0 . Характеристика исследованных образцов глин приведена в табл. 2. Исследования проводились на глинах естественного сложения и нарушенной структуры, т.е. на уплотненных мономинеральных глинистых пастах. В качестве первой использовалась изотропная гидрослюдистая глина из Кудиновского месторождения Московской обл. Анизотропные пасты готовились из этой же глины в Na- и Ca-формах, из каолина Просьяновского месторождения и из монтмориллонитовой глины (аскангель, Цихис-Убанское месторождение ГрузССР).



Р и с. 4. Анизотропия сдвиговой прочности глин при различных вертикальных нагрузках P

а – юрская глина из района г. Брянска (1 – $P = 0,5$ МПа, 2 – $P = 0,3$ МПа, 3 – $P = 0,1$ МПа, 4 – $P = 0$), *б* – паста аскангеля (1 – $P = 0,2$ МПа, 2 – $P = 0,1$ МПа, 3 – $P = 0,05$ МПа, 4 – $P = 0$), *в* – паста каолина просьяновского (1 – $P = 0,15$ МПа, 2 – $P = 0,1$ МПа, 3 – $P = 0,05$ МПа, 4 – $P = 0$); 2 – герпегежский бентонит (1 – $P = 0,5$ МПа, 2 – $P = 0,3$ МПа, 3 – $P = 0,1$ МПа, 4 – $P = 0$)



Р и с. 5. Анизотропия коэффициента трения в глинах

1 – герпегежский бентонит, 2 – юрская глина

Еще М.Н. Гольдштейном была высказана гипотеза [4], что разрушение глинистых грунтов происходит при некоторой критической деформации. Он это подтвердил экспериментально. Известно также, что при сдвиговом деформировании глин с заданной скоростью для увеличения деформаций требуется возрастание напряжений. При достижении некоторой критической деформации $\gamma_{кр}$ дальнейшее деформирование сопровож-

Таблица 2

Характеристика свойств и состояния исследованных глин

Характеристика глины	Влажность, W , %	Пористость, n , %	Удельная поверхность, S , m^2/g	Пластичность, %			Показатель консистенции, B
				W_T	W_P	W_M	
Са-гидрослюдистая глина (естественное сложение)	21,8	37,1	117	45	23	22	-0,06
На-гидрослюдистая глина (паста уплотнена, $P_n = 0,6$ МПа)	31,0	45,6	117	49	24	25	+0,28
На-каолин (паста, уплотнена, $P_n = 0,6$ МПа)	39,6	51,7	32	53	31	22	+0,39
Са-каолин (паста уплотнена, $P_n = 0,4$ МПа)	33,0	47,1	32	50	31	19	+0,11
На-аскангель (паста уплотнена, $P_n = 0,4$ МПа)	207,0	85,0	646	382	51	331	+0,47.

дается снижением напряжения. Напряжение, отвечающее $\gamma_{кр}$, является критерием прочности, так как свидетельствует о начавшемся процессе разрушения грунта [4]. Напряжение, отвечающее критерию прочности, оказывается неоднозначным, так как результаты испытания зависят от величины всестороннего давления и продолжительности действия нагрузки (скорости деформирования). Это же мнение разделяет и Л. Бьеррум [1]. Он полагает, что "влияние времени на сопротивление глин сдвигу, таким образом, сводится к вопросу о времени, требуемом для достижения критических деформаций сдвига, при которых будет разрушение".

Действительно, величина критической деформации $\gamma_{кр}$ не зависит от скорости деформирования глины. Кроме того, $\gamma_{кр}$ практически не зависела от величины вертикальной нагрузки P . Однако она сильно зависит от величины зоны сдвига, т.е. от диаметра испытываемого образца. Если выразить критическую деформацию в виде относительной величины $\gamma_{кр}^{отн} = \gamma_{кр}/d$ (где d — диаметр образца), то она уже не зависит от величины испытываемого образца. В данной работе испытывались образцы диаметром 12 и 24 см². Пересчет $\gamma_{кр}$ на относительную величину подтвердил это. По-видимому, величина $\gamma_{кр}^{отн}$ зависит в основном от качества глины (величины удельной поверхности, концентрации твердой фазы, толщины водных прослоек в контактных зазорах и их реологических свойств).

Принимая во внимание, что в процессе деформации глины во времени происходит определенная переориентация глинистых частиц ($\alpha \rightarrow 0^\circ$), можно полагать, что величина $\gamma_{кр}^{отн}$ обуславливает максимальную скорость деформирования, при которой в глине может пройти процесс переориентации ее структурных элементов, обуславливающий максимальный эффект изменения прочности глины, не связанный с процессом ее разрушения. Опыт подтвердил это предположение. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Полученные результаты исследования изменения сдвиговой прочности глин при деформировании их с убывающей скоростью позволяют согласиться с мнением Г.И. Тер-Степаняна [12] о том, что процесс ползучести водонасыщенных глин складывается из двух фаз, в противоположность традиционному разделению его на три стадии [3]. Однако исследование анизотропии прочности глин дает основание иначе объяснить природу первой фазы ползучести, назвав ее фазой переориентации, и оставить без изменения название второй стадии — стадии разрушения.

Таким образом, можно полагать, что временной фактор определяет изменение прочности глины в процессе ее ползучести за счет переориентации микрочастиц глины в направлении деформации, когда $\alpha \rightarrow 0^\circ$. Из полученных данных (см. табл. 3) видно, что в тех случаях, когда анизотропная глина деформируется с любой скоростью при $\alpha = 0$, т.е. когда переориентации частиц не происходит, прочность ее не меняется и величина так называемой условно-мгновенной прочности τ_0 , равна прочности τ_t при любой другой скорости деформирования глины. Когда же в анизотропной глине угол $\alpha \neq 0^\circ$, или же глина изотропна, и поэтому в процессе деформирования происходит переориентация глинистых частиц ($\alpha \rightarrow 0^\circ$), τ_t зависят от скорости деформирования глины.

Из рис. 6,а следует, что для изотропной глины скорость деформирования $8,8 \cdot 10^{-4}$ см/сек еще слишком велика, чтобы глина успела перестроить свою микротекстуру до состояния, характеризуемого $\alpha = 0^\circ$, в пределах деформации до $\gamma_{кр}$. При скорости же $5 \cdot 10^{-6}$ см/сек она уже успевает полностью переориентироваться до достижения $\gamma_{кр}$, в результате чего резко повышается адгезионная прочность P_0 за счет увеличения площади истинного контакта частиц и падает величина коэффициента трения до величины 0,0866 ($\varphi \approx 5^\circ$), характерной для среза глин при $\alpha = 0^\circ$ (см. рис. 1,5). Уменьшение скорости деформирования ниже указанной дополнительного эффекта изменения τ_t не дает.

На рис. 6, б и в табл. 3 представлена зависимость $\tau(P)$ для Са-каолининовой глины (пасты) при трех указанных скоростях при исходной ориентации анизотропного образца, характеризуемой $\alpha = 90^\circ$. Здесь наблюдается аналогичное изменение прочности τ_t по сравнению с τ_0 : резкое возрастание P_0 и снижение φ до $\sim 6^\circ$ при скорости деформирования $5 \cdot 10^{-6}$ см/сек. Если же сопоставить результаты исследования анизотропии сдвиговой прочности глин (см. рис. 1) и зависимость $\tau(P)$ глин от скорости деформирования (рис. 6), то можно заметить, что они весьма близки. На основании этого можно сделать вывод, что основным фактором, определяющим длительную прочность пластичных глин, является анизотропия сдвиговой прочности глин. Вследствие этого эффект

Таблица 3

Результаты исследования зависимости сдвиговой прочности водонасыщенных глин от скорости приложения сдвиговой нагрузки

Наименование глины	Ориентация образца, α°	Скорость деформирования, V , см/сек	Сцепление C , МПа	Адгезионная прочность, P_0 , МПа	Коэффициент трения		Относительная критическая деформация, $\bar{\gamma}_{\text{отк кр}} \times 10^{-2}$
					$\text{tg } \varphi$	φ°	
Изотропная гидрослюдистая глина (естественное сложение)	произвольная	$2 \cdot 10^{-2}$	0,143	0,465	0,2900	$16^\circ 10'$	4,5
То же	"	$8,8 \cdot 10^{-4}$	0,118	0,615	0,1892	$10^\circ 42'$	4,5
"	"	$5 \cdot 10^{-6}$	0,129	1,490	0,0866	$4^\circ 57'$	4,5
Анизотропная Na-гидрослюдистая глина (паста уплотнена, $P_n = 0,6$ МПа)	0	$2 \cdot 10^{-2}$	0,084	0,945	0,0866	$4^\circ 57'$	4,7
То же	0	$5 \cdot 10^{-6}$	0,084	0,945	0,0866	$4^\circ 57'$	4,7
Анизотропный Na-каолин (паста уплотнена, $P_n = 0,6$ МПа)	0	$2 \cdot 10^{-2}$	0,079	0,810	0,0966	$5^\circ 30'$	4,3
То же	0	$5 \cdot 10^{-6}$	0,079	0,810	0,0966	$5^\circ 30'$	4,3
Анизотропный Са-каолин (паста уплотнена, $P_n = 0,4$ МПа)	90	$2 \cdot 10^{-2}$	0,056	0,190	0,2947	$16^\circ 30'$	4,4
То же	90	$8,8 \cdot 10^{-4}$	0,058	0,220	0,2592	$14^\circ 30'$	4,4
"	90	$5 \cdot 10^{-6}$	0,075	0,530	0,1041	$5^\circ 54'$	4,4
Анизотропный Na-монтмориллонит (паста аскангеля уплотнена, $P_n = 0,4$ МПа)	0	$2 \cdot 10^{-2}$	0,029	0,50	0,0563	$3^\circ 14'$	2,2
То же	0	$5 \cdot 10^{-6}$	0,029	0,50	0,0563	$3^\circ 14'$	2,2

изменения прочности глины при медленном ее загрузении или при малой скорости деформирования, по сравнению с τ_0 , определяется следующими основными факторами: исходной ориентацией анизотропной глины относительно \bar{P} и \bar{T} ; величиной вертикальной нагрузки P ; скоростью деформирования глины.

Отмеченный выше (см. рис. 4) при исследовании анизотропии $\tau_0(P)$ глин эффект инверсии изменения τ_0 при изменении ориентации образца

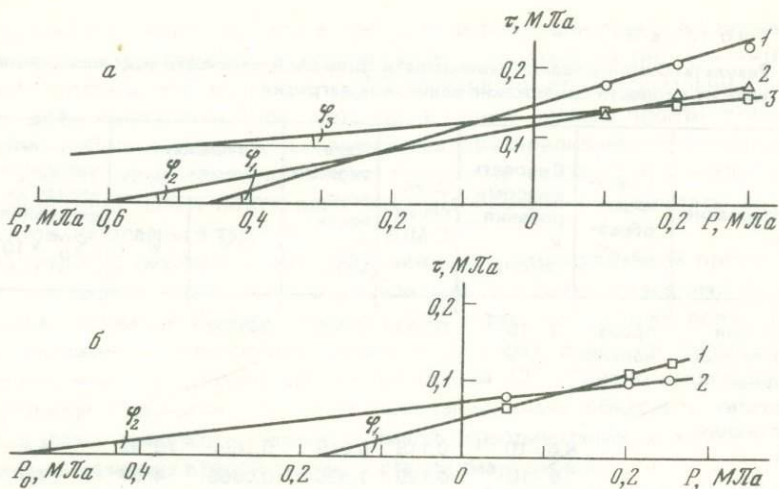


Рис. 6. Зависимость сдвиговой прочности изотропной (а) и анизотропной (б) глин от вертикальной нагрузки при различных скоростях ее деформирования

а — гидрослюдистая кудиновская глина (1 — условно-мгновенное приложение сдвигающей нагрузки при скорости деформирования $V_1 = 2 \cdot 10^{-2}$ см/сек, 2 — $V_2 = 8,8 \cdot 10^{-4}$ см/сек, 3 — $V_3 = 5 \cdot 10^{-6}$ см/сек); б — паста Са-каолиновой глины (каолин просяновский), уплотненная $P_n = 0,4$ МПа, $\alpha = 90^\circ$ (1 — условно-мгновенное приложение сдвигающей нагрузки при $V_1 = 2 \cdot 10^{-2}$ см/сек, 2 — $V_3 = 5 \cdot 10^{-6}$ см/сек)

микрослоистой глины на 90° (а от 90° до 0°) определяет и объясняет отмеченную затем закономерность как снижение (при относительно больших значениях P) τ_t при медленном их деформировании, так и повышение ее — при малых значениях P (рис. 6). Однако переориентация глинистых частиц в процессе медленных сдвиговых деформаций, приводящая либо к уменьшению, либо к увеличению τ_t по сравнению с τ_0 , не связана с разрушением глины и характеризует первую фазу ползучести. Здесь глина лишь перестраивает свою текстуру, и изменение ее прочности (уменьшение или увеличение) происходит вследствие найденных закономерностей ее анизотропии. Совершенно иные процессы происходят, по-видимому, во второй фазе ползучести глины — в фазе разрушения, когда в процессе ее деформирования будет превзойдена величина $\gamma_{кр}$, вследствие чего происходят необратимые процессы образования дефектов структуры. Этот процесс требует глубокого комплексного исследования.

Из полученных данных можно заключить, что пределом длительной прочности τ_∞ пластичных глин при данной вертикальной нагрузке P является максимальное сдвиговое напряжение, получаемое при скорости деформирования $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ см/сек и менее, соответствующее величине $\gamma_{кр}$. Поскольку же последняя для самых различных по составу и состоянию глин лежит в довольно узком диапазоне (см. табл. 3), то, по-видимому, найденная эмпирическая скорость деформирования $5 \cdot 10^{-6}$ см/сек является оптимальной для всех глин. Из полученных данных следует

также (см. рис. 6), что величина T_{∞} для анизотропных глин может быть как меньше, так и больше T_0 , в зависимости от указанных выше факторов, обуславливающих закономерности анизотропии сдвиговой прочности пластичных глин.

АБСТРАКТ

In the rheology of clays a microrheology is now finding increasing development which makes it possible to study the physical nature of the phenomena forming the basis of the rheological properties of clays (creeping, relaxation of strains and decline in strength under shearing loads acting for a long period of time).

The study of the rheological properties of water-saturated clay soils is first based on the investigation of the nature of anisotropy of their shear strength.

It is shown that the anisotropy of the shear strength of plastic clays is determined by two basis factors: (1) the contact area of particles which is not remained constant at a different shear plane and (2) the difference in binding energies between the surfaces of pinacoids and angles of crystal edges.

The basic factor determining the temporary strength of plastic clays is the anisotropy of their shear strength. The effect of changing (both decline and increase) the clay strength at a small rate of its strain due to reorientation of its particles as compared with the conventional momentary strength is determined by the following factors: (1) the original orientation of anisotropic clay relative to the directions of the action of normal and shearing stresses; (2) the value of vertical load; (3) the rate of clay strain. For isotropic clays the first factor naturally is of no consequence.

Since, for the plastic clays different in composition and state the values of relative ultimate strain are in a comparatively small range, the rate of strain of $5 \cdot 10^{-6}$ cm/sec. may be regarded optimal for all clays in the sense of full completion of the reorientation phase in the process of their creeping.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бьеррум А. Проблемы механики и строительства на структурно-неустойчивых и слабых грунтах (просадочных, набухающих и др.). — В кн.: Генеральные доклады 8-го Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроения. М.: Стройиздат, 1975.
2. Бондарик Г.К., Царева А.М., Пономарев В.В. Текстура и деформация глинистых пород. М.: Недра, 1975.
3. Вялов С.С., Пекарская Н.К. Длительная прочность грунтов. — В кн.: Исследование геологических свойств грунтов. Л.: Энергия, 1968, вып. 38.
4. Гольдштейн М.Н., Туровская А.Я., Бабицкая С.С. О работе критерия прочности для оценки длительной устойчивости откосов. — В кн.: Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды. Л., 1976.
5. Дерягин Б.В. Что такое трение? М.: Изд-во АН СССР, 1963.

6. *Дерягин Б.В., Карасев В.В., Захаваева Н.Н., Лазарев В.П.* Механизм граничной смазки и свойства граничного смазочного слоя. — Журн. техн. физ., 1957, т. 27, вып. 5.
7. *Кульчицкий Л.И., Усьяров О.Г.* Поверхностные силы и микрогеология водонасыщенных глинистых систем. — В кн.: Связанная вода в дисперсных системах. М.: Изд-во МГУ, 1979, вып. 5.
8. *Кульчицкий Л.И., Усьяров О.Г.* Анизотропия сдвиговой прочности водонасыщенных глин. — В кн.: Связанная вода в дисперсных системах, вып. 5. М.: Изд-во МГУ, 1979.
9. *Осипов Ю.Б., Соколов Б.А., Вайтекунене А.И., Лобанов Е.М.* К вопросу о корреляции между текстурой и механическими свойствами глинистых грунтов. — В кн.: Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды. Л.: 1976.
10. *Певзнер М.Е., Андросова О.Н., Кривошеина М.И.* Экспериментальное изучение связи прочности глинистых пород с их текстурой и влажностью. — В кн.: Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды. Л., 1976.
11. *Рогаткина Ж.Е.* Влияние анизотропности глинистых грунтов на их физико-механические свойства. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1967, № 1.
12. *Тер-Степанян Г.И.* Теория ползучести глины при сдвиге и ее экспериментальное подтверждение. — В кн.: Труды 2-го Всесоюзного симпозиума по геологии грунтов. Ереван: Изд-во Ереванского университета, 1976.
13. *Херстус Ю.* Влияние структуры на сопротивление сдвигу миоценовых трещиноватых глин. — В кн.: Инженерно-геологические свойства глинистых пород и процессы в них. М.: Изд-во МГУ, 1972.
14. *Шибакова В.С.* Влияние структуры глин на их сопротивление сдвигу. — В кн.: Вопросы инженерной геологии. М.: 1970.
15. *Шукле Л.* Геологические проблемы механики грунтов. М.: Стройиздат, 1976.

УДК 624.131.31

А.И. ШЕКО, В.С. КРУПОДЕРОВ

ВРЕМЕННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Одной из важнейших задач современной инженерной геологии является прогнозирование экзогенных геологических процессов, под которым понимается научное предвидение места, времени и масштаба их проявления. Принципиальная возможность прогноза развития экзогенных геологических процессов вытекает из доказанного в настоящее время циклического (периодического) характера проявления различных взаимосвязанных природных явлений на земле. Продолжительность циклов колеблется в широких пределах от суток до миллионов лет. Следует различать при этом циклы общих планетарных изменений и циклы природных явлений, проявляющихся только в отдельных регионах.

В настоящее время цикличность земных процессов связывается с деятельностью Солнца, а также с изменением приливообразующих сил, обусловленных движением планет в солнечной системе и самой этой системы в Галактике. Наибольшее влияние на ход развития земных явлений оказывает Солнце. Механизм этого явления изучен еще недостаточно, однако воздействие Солнца прежде всего осуществляется че-

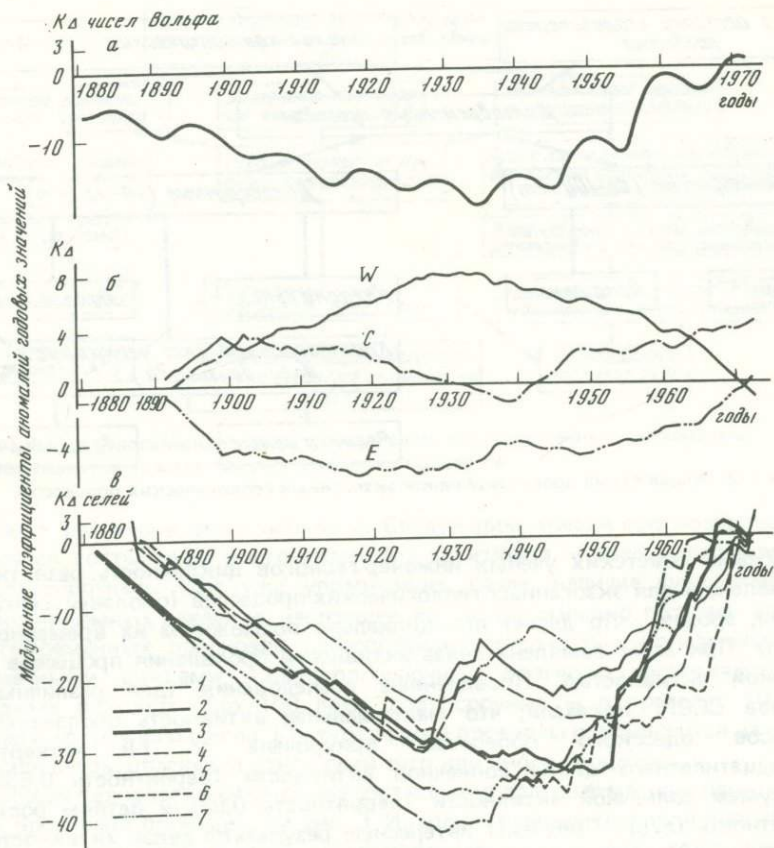
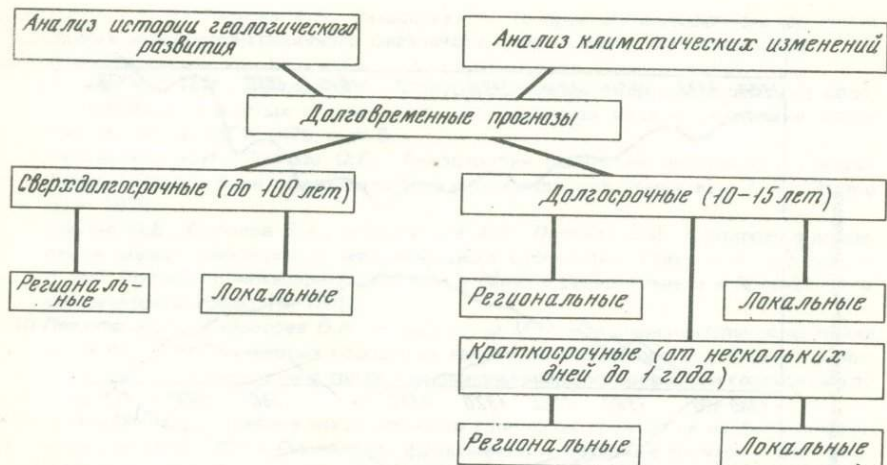


Рис. 1. Интегральные кривые аномалий солнечной активности (а), макроформ атмосферной циркуляции (б), проявления селей в различных регионах СССР (в)
 1 — Кавказ (в целом); 2 — Армянская ССР; 3 — Кавказ (без Армении);
 4 — Средняя Азия; 5 — бассейн Сырдарьи; 6 — Заилийский Алатау; 7 — Туркмения

рез наиболее подвижную оболочку Земли — атмосферу. Это воздействие периодически меняется соответственно изменению солнечной активности. Наиболее четко в солнечной активности выражен одиннадцатилетний цикл. Существенное влияние на развитие земных процессов оказывают и приливообразующие силы, возникающие в результате взаимодействия планет при различном положении. Работами различных исследователей установлено, что во многих случаях активизация природных процессов или климатические аномалии связаны не только с солнечной активностью, но и с характерным положением тел солнечной системы. Примером является 1850-летний цикл, обусловленный положением констелляции — нахождением Солнца, Земли и Луны на одной прямой.



Р и с. 2. Общая схема прогнозирования экзогенных геологических процессов

Работами советских ученых инженер-геологов цикличность развития установлена и для экзогенных геологических процессов (оползней, селей, абразии, эрозии), что делает принципиально возможным их временной прогноз. При этом выявлена связь активности проявления процессов с солнечной активностью. Проведенные исследования (для различных регионов СССР) показали, что максимальная активность оползневых процессов одесского побережья приурочена к 1-й четверти одиннадцатилетнего цикла солнечной активности (вероятность 0,63), минимумам солнечной активности (вероятность 0,88) и ветвям роста (вероятность 0,78). Получены интересные результаты связи активности проявления селевых процессов в различных регионах СССР с солнечной активностью и макроформами атмосферной циркуляции по Вангенгейму. На рис. 1 показаны интегральные кривые аномалий солнечной активности, макроформ атмосферной циркуляции и проявления селей, из которых следует, что ход интегральных кривых аномалий проявления селей для всех регионов соответствует ходу интегральной кривой солнечной активности, выраженной в числах Вольфа. Наблюдается усиление селевой активности, приуроченное к эпохе минимума интегральной кривой аномалий солнечной активности. Приведенные примеры иллюстрируют ранее высказанные утверждения применительно к прогнозу экзогенных геологических процессов и дают представление об исходных позициях прогнозирования.

Общая схема прогнозирования экзогенных геологических процессов изображена на рис. 2. Основой всех прогнозов является анализ истории геологического развития и изменения климатических условий, определяющих тенденцию развития экзогенных геологических процессов. При этом особое внимание уделяется направленности, интенсивности и контрастности современных тектонических движений. Анализ климатических изменений дается на фоне 1850-летнего цикла. Этот цикл хорошо проявляется на всем северном полушарии и характеризуется чередовани-

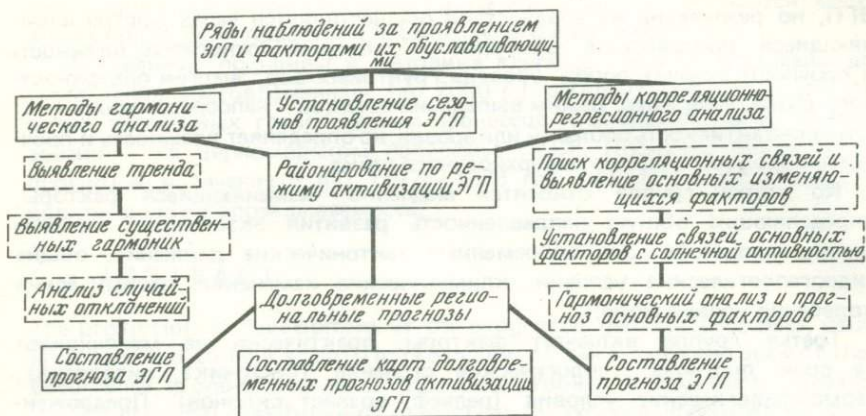


Рис. 3. Технологическая схема составления долговременных региональных прогнозов развития экзогенных геологических процессов

ем эпох различной увлажненности. Следующим этапом прогнозирования является составление долговременных прогнозов — сверхдолгосрочных и долгосрочных. Как уже упоминалось ранее, наличие существенных солнечно-земных связей в настоящее время несомненно, поэтому сроки долговременных прогнозов целесообразно связывать с определенными солнечными циклами. Сверхдолгосрочные прогнозы составляются в пределах векового (до 100 лет), долгосрочные — в пределах 10–15-летнего солнечного цикла. Краткосрочные прогнозы составляются на один год или сезон, опасный в отношении того или иного процесса.

Общая технологическая схема составления долговременных региональных прогнозов приведена на рис. 3. Исходным материалом для прогнозов являются ряды наблюдений за проявлением экзогенных геологических процессов (ЭГП) и факторами, их определяющими. Для анализа временных рядов и составления прогнозов используется комплекс методов, который включает: гармонический анализ, корреляционно-регрессионный анализ, совместный анализ интегральных кривых аномалий солнечной активности, проявления экзогенных геологических процессов и основных факторов, их определяющих. В случае, когда имеются достаточно продолжительные ряды наблюдений непосредственно за экзогенными геологическими процессами, основная задача прогнозирования заключается в выделении циклов во временных рядах. Для этого используется гармонический анализ. В случае их отсутствия используются ряды наблюдений за факторами, определяющими развитие экзогенных геологических процессов. Для этого используется корреляционно-регрессионный анализ.

Для целей составления долговременных региональных прогнозов все факторы, определяющие ход развития и активность экзогенных процессов, подразделены на три группы. К первой относятся быстроизменяющиеся — основные и производные факторы. К быстроизменяющимся основным относятся гидрометеорологические факторы — атмосферные осадки и режим их выпадения, температура, волнения и уровни морей, озер и водохранилищ, одновременно они определяют режим проявления

ЭГП, но реализация их воздействия осуществляется через быстро изменяющиеся производные факторы, к которым относятся влажность и прочность горных пород, уровень грунтовых вод, энергия поверхностного стока. Например, режим выпадения осадков непосредственно не влияет на активность оползней или эрозии, но определяет влажность и прочность пород или энергию поверхностного стока.

Ко второй группе относятся медленно изменяющиеся факторы, определяющие общую направленность развития экзогенных геологических процессов. Это современные тектонические движения, общие гидрогеологические условия, климатические изменения, эвстатические колебания уровня моря.

Третья группа включает факторы, практически не меняющиеся за срок прогноза: геологическое строение (тектоника, литология), геоморфологические условия (рельеф, возраст склонов). Предложенная классификация факторов имеет принципиальное значение не только для прогнозирования, но и для изучения регионального режима экзогенных процессов. Суть вопроса заключается в том, что факторы первой группы, изменяющиеся и во времени, и в пространстве, являются основой и для пространственного, и для временного прогнозирования. Факторы же третьей группы, изменяющиеся только в пространстве, являются основной только пространственного прогноза.

Следует отметить, что изучение механизма влияния факторов на развитие экзогенных геологических процессов относится к одной из наиболее важных и сложных задач прогнозирования. Проведенные исследования показали, что активизация одного и того же процесса в различных случаях связана с неодинаковыми факторами. Так, например, активность абразии (отступление берегового уступа) на северо-западном побережье Черного моря связана только с высокими уровнями — коэффициент корреляции годовых значений отступления и уровней 0,65, а на Крымском побережье только со штормами — коэффициент корреляции годовых значений отступления и энергии волнения 0,75, хотя и в том и в другом случае разрушающей силой является волнение. Дело в том, что на северо-западном побережье амплитуда колебания уровня в несколько раз больше, чем на Крымском побережье. А при низких уровнях ширина пляжа значительно увеличивается, и даже в сильные штормы волны не достигают берега. При нагонах уровень поднимается настолько, что море заливает пляж и даже основание берегового уступа, что ведет к его разрушению и при слабом волнении за счет размочания глинистых пород, его слагающих.

После исследования механизма влияния факторов, выявления определяющих факторов и установления достаточно высокой степени корреляции их с активностью процесса анализируется цикличность этих факторов и составляется прогноз их развития с использованием гармонического анализа. На основе прогноза факторов составляется прогноз развития экзогенных геологических процессов.

Заключительным этапом прогнозирования является составление инженерно-геологических карт прогноза активизации экзогенных геологических процессов, которые составляются для определенного генетического

типа — оползней, селей, абразии и т.д. На этих картах отображается: место, время проявления процесса и возможная его интенсивность.

Изложенные принципы и методика впервые были использованы для составления долговременных (до 2000 г.) региональных прогнозов развития экзогенных геологических процессов — оползней, селей, абразии, эрозии — на Черноморском побережье СССР. Проверка составленных прогнозов в течение 5 лет (1974—1978 гг.) показала вполне удовлетворительную их оправдываемость.

А B S T R A C T

The prediction of development of the exogenetic geologic processes, which is understood to be a scientific prediction of place, time and scale of their occurrence, is one of the most important problem in engineering geology.

The principal possibility of predicting the exogenetic geologic processes is presently specified by the proved cyclic nature of the occurrence of various interconnected natural phenomena on the Earth. The length of cycles ranges from days to millions of years.

Prediction of the exogenetic processes begins with analysing the geologic history and the change of climatic conditions of predicting is to compile long-term regional predictions, the initial material for which is the observational series of the occurrence of the processes and their determining factors. To analyse the time series a complex of methods is used. It includes a harmonic analysis, a correlation-regression analysis, a combined analysis of the integral curves of the solar activity anomalies, the occurrence of the processes and the basic factors determining their development.

A final stage of prediction is to compile engineering-geological maps of predicting the activization of the exogenetic processes which reply to the questions: what processes, where, when and on what scale they will be produced.

УДК 624.131.31

В.В. КЮНЦЕЛЬ, Г.П. ПОСТОЕВ, Г.Р. ХОСИТАШВИЛИ

НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОГНОЗОВ ОПОЛЗНЕЙ

Общая тенденция к расширению хозяйственной деятельности требует дальнейшей разработки и внедрения в практику новых наиболее эффективных методов региональных прогнозов оползней. Эффективность применяемых на практике методов прогноза и их достоверность могут быть обеспечены на базе современных теоретических представлений о генезисе, региональном распространении и развитии во времени оползневой процесса. В советской инженерной геологии имеются определенные достижения как в общей теории экзогенных геологических процессов,

так и в методологии исследования оползней [5, 1, 2, 6]. Задачи усовершенствования методологии прогнозирования оползней требуют дальнейшей разработки ряда теоретических положений, основанных на выявленных типовых, региональных и общепланетарных закономерностях оползневой системы. Настоящий доклад не претендует на охват всей системы теоретических предпосылок прогнозов экзогенных геологических процессов. В нем рассматриваются некоторые, по мнению авторов, наиболее существенные теоретические и методологические аспекты решения задач регионального прогноза оползней.

Оползневой процесс, геологическая природа которого общепризнана советской школой инженеров-геологов, относится, к категории экзогенных геологических процессов, проявляющихся в верхних частях земной коры. Вместе с тем его следует рассматривать как один из элементов общей геодинамической системы. Данный вывод базируется на представлении о Земле как о единой материально-энергетической системе, находящейся в сложном взаимодействии с окружающим ее космическим пространством и характеризующейся направленным перманентным развитием. Одним из проявлений развития этой системы являются геологические процессы, в том числе и оползни.

Развитие оползневой системы определяется совокупным воздействием влияющего на него множества факторов. Они могут быть разделены на две большие группы: земные и космические. Первые оказывают непосредственное воздействие на оползни, определяют сферу их распространения, условия возникновения и развития, активность проявления и т.д. Вторые действуют более опосредованно, существенно влияя не только на оползни, но по существу и на все факторы первой группы.

При исследовании оползневой системы на конкретной территории может быть с достаточной точностью определен набор ведущих факторов, состав и весовой вклад которых могут существенно меняться во времени, в различные стадии и фазы оползневой системы.

При решении задач прогнозирования оползней необходим системный подход, одним из главных принципов которого является комплексный учет влияния множества факторов по законам их взаимосвязи и взаимозависимости. На этом принципе должно базироваться решение задач региональных прогнозов оползней. Многофакторный анализ оползневой системы показывает, что независимо от механизма оползня и других его важнейших характеристик в качестве ведущего фактора всегда выступает литолого-стратиграфический. Из этого тезиса следует, что при региональных прогнозах оползней всегда должны учитываться состав, состояние и свойства горных пород, в которых проявляются оползневые деформации. При этом роль различных геологических тел, комплекс которых составляет склоны, в возникновении и развитии оползней неодинакова. Среди них выделяется основной деформирующийся горизонт (ОДГ), состав и свойства которого во многом определяют механизм и динамику оползневой системы. Под ОДГ понимается такое геологическое тело (слой, пласт), при отсутствии которого в рассматриваемом комплексе оползневой системы процесс не возникает. Толща горных пород выше ОДГ в разрезе склона именуется перекрывающей, ниже подстилающей.

Например, для района Москвы основным деформирующим горизонтом являются глины оксфордского яруса. По своим инженерно-геологическим, в том числе и реологическим, свойствам это геологическое тело отличается от перекрывающих и подстилающих его других глинистых горизонтов юрской системы [4]. Положение указанного ОДГ в пределах склона во многом предопределяет характер оползневых деформаций. В частности, на тех участках, где глины оксфордского яруса отсутствуют, глубокие оползни не встречаются. При региональных прогнозах, в зависимости от масштаба и задач исследований, часто рассматриваются не отдельные петрографические (литологические) типы пород, а целые литолого-стратиграфические комплексы и даже формации. Однако и в этом случае необходимо учитывать наличие в их составе ОДГ, что может являться руководящим признаком при выделении самих комплексов и классификации оползней.

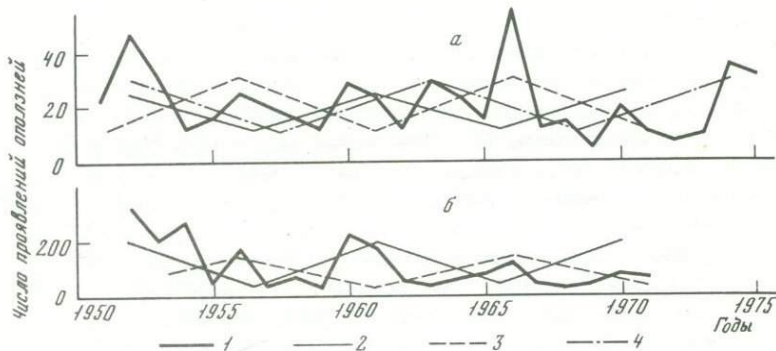
К категории ведущих относятся также факторы, в значительной степени влияющие на изменение напряженного состояния горных пород. Среди этих факторов особое место занимает сейсмо-тектоническое воздействие, эрозия или абразия. На этом же уровне по значимости следует рассматривать фактор техногенного воздействия. В определенных условиях повышается роль других факторов, например гидродинамического давления, суффозионно-карстового процесса и др.

Методология прогноза оползней, независимо от используемых конкретных методов, должна быть основана на установлении закономерностей о пространственном распределении и развитии их во времени. Одной из важнейших таких закономерностей является вывод об унаследованности оползневого процесса. Он основан на представлении о том, что возникновение новых или активизация действующих оползней генетически тесно связаны со всем их предшествующим развитием и проявляется лишь в определенных инженерно-геологических условиях (обстоятельствах). При этом следует различать пространственную и временную унаследованность.

Пространственная унаследованность выражается в том, что определенная совокупность (класс) оползней может развиваться лишь на ограниченной территории, в пределах распространения ОДГ, с которым она связана.

Более сложными являются представления о временной унаследованности оползневого процесса. Она проявляется в периодической активизации оползней и наиболее ярко в той ее форме, которую именуем ритмичностью. При этом под оползневой ритмичностью понимается периодическое ускорение процесса, выражающееся в закономерном чередовании периодов массовой активизации и затухания оползней, возрастании скоростей их движения, увеличении их числа и суммарной площади и т.д. (рис. 1). Оползневой ритм — это промежуток времени между двумя экстремальными значениями активизации оползней, обусловленными одинаковыми причинно-следственными связями, космическими и земными факторами.

Оползневая ритмичность проявляется в поведении не единичных



Р и с. 1. Графики изменений числа проявлений оползней во времени

а — для района г. Горького; *б* — г. Сочи. 1 — кривая фактических проявлений оползней; 2 — кривая девятилетнего оползневого ритма; 3 — десятилетнего; 4 — одиннадцатилетнего

оползней, а их множества (генетически связанных совокупностей). Учитывая, что основные характеристики соседних ритмов (фазы, периоды и амплитуды) обычно существенно отличны и могут колебаться в определенных диапазонах, более правильно говорить о квазиритмичности оползневого процесса. Это обстоятельство существенно усложняет анализ временных рядов параметров оползней.

Основой для прогнозирования оползневого процесса следует рассматривать совокупность систематизированных знаний о его механизме. Знание механизма оползневого процесса при региональном прогнозе столь же важно, как и при локальных прогнозах, хотя может создаться мнение, что для стохастических моделей, используемых преимущественно при региональном прогнозировании, это является несущественным. Достаточно указать, что надежный выбор оползневых факторов, используемых в конкретной стохастической модели, зависит от степени знаний о механизме прогнозируемых типов оползней. Все математические модели, применяемые в прогнозировании оползней как в региональном, так и в локальном аспектах, можно подразделить, следуя кибернетической терминологии, на две группы: модели, основанные на принципе "черного ящика" (стохастические), и модели, соответствующие "белому ящику" (детерминистские).

К группе моделей "черного ящика" относится большинство известных вероятностно-статистических методов пространственного прогнозирования, использующих массовую информацию о проявлениях оползней и региональные закономерности их распространения. "Входами" или исходной информацией этих моделей служат пространственные реализации факторов, практически неизменных во времени. Выбор факторов регламентируется детальностью исследований, типом прогнозируемых оползней в соответствии с представлениями о механизме процесса, согласуется с априорно выявленными закономерностями распространения оползней на данной территории и зависит от ее изученности.

При некотором множестве m выбранных факторов каждая таксономическая единица на карте представлена m значениями факторов, т.е. она характеризуется вектором в m -мерном пространстве, а исходная карта реализаций "входов" является векторным полем. Информация на "выходе" "черного ящика" (моделей пространственного прогноза) представлена данными о существующих проявлениях прогнозируемого типа оползней на рассматриваемой территории.

Для всех известных моделей данной группы общим является то, что результирующая комплексная оценка каждой тексономической единицы прогнозной карты, будь то сумма баллов [3], оползневой потенциал или любой другой показатель, не несет в себе абсолютного количественного значения, а используется в качестве меры сходства для сравнения векторов между собой и последующего на ее основании районирования территории по подверженности оползневому процессу [3].

В отличие от пространственного прогнозирования в моделях группы "черного ящика", используемых для временного прогноза "входа" и "выхода", представлены временными последовательностями (рядами) соответственно факторов и комплексного показателя оползневого процесса. Нередко применяются модели, включающие анализ одного временного ряда — "выхода" (выявление ритмичности, определение закона распределения вероятностей прогнозируемой величины и др.).

Значительно реже при региональном прогнозировании применяются модели группы "белого ящика". При этом комплексный показатель, характеризующий степень устойчивости склона, определяется расчетом по известному детерминированному закону. Эта группа моделей предусматривает значительно большую, чем это требуется для региональных прогнозных оценок, детальность допрогнозных исследований, в связи с чем их применение оправдано в основном при локальном прогнозировании.

Дальнейшее внедрение существующих и новых, преимущественно более сложных, математических моделей в практику регионального прогнозирования оползней, естественно, возможно лишь на основе широкого применения современной электронно-вычислительной техники при необходимом ее методическом обеспечении и накоплении массовой исходной фактической информации о развитии в пространстве и времени оползней и их факторов. Вместе с тем следует подчеркнуть, что независимо от сложности и совершенности используемых математических моделей и электронно-вычислительной техники инженерно-геологической интерпретации при прогнозе оползней принадлежит решающая роль.

Совершенствование отдельных методов, так же как и методики прогнозирования оползней, в целом необходимо вести по следующим направлениям.

1. Исследование закономерностей распространения и развития оползней в различных регионах СССР, выявление особенностей их механизма. Развитие этого направления позволит существенно усовершенствовать модели, используемые при региональных прогнозах.

2. Более широкое применение современных математических методов и вычислительной техники, внедрение информационно-поисковых и диагностических систем в практику накопления и обработки исходной информации, расширение набора и совершенствование алгоритмизированных программ для ЭВМ.

3. Разработка специализированных прогнозных систем (методов, моделей) для различных задач количественных региональных прогнозов оползней.

4. Повышение качества и представительности необходимой для прогнозов исходной информации.

В связи с этим большое практическое значение приобретает организация единой службы прогнозов геологических процессов и специализированных центров сбора, хранения и переработки информации с выдачей соответствующих прогнозных заключений.

ABSTRACT

At present, as a result of intensification of the economic development of land, in a number of the USSR areas the activity of landslides has markedly been increased. In this connection, of great importance is a working out of the new methods and a development of the existing methods for predicting landslides.

The paper presents some fundamental points of the theory of the landslide process which form the basis of regional predictions. Their successive application in practice will raise the reliability of the predictions made and hence their economic efficiency.

A set of the landslide factors, among which the factors-conditions and the factors-processes are distinguished, may essentially vary. The analysis of their influence of the landslide process makes it possible to distinguish a number of leading factors. A lithologic-stratigraphic factor is the most important one present in all sets of factors. Thereby, the composition, state and the properties of the principal deformed horizon play a determining role in the landslide process. The principal deformed horizon is understood as a geological body (layer, bed) in a complex of rocks composing the slope, the absence of which results in stopping the slide process or else it is of a rather different character.

To solve the problems of a regional prediction of landslides various mathematical models are applied. They are subdivided into deterministic and stochastic ones. The evaluation of the quality of mathematical models and the reliability of the basic information are based of the principle of verification which may be realized by different ways.

The new methods developed in the USSR for regional predictions of landslides are based on achievements of the slide theory and take into account spatial and temporary regularities of the landslide process.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Емельянова Е.П.* Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972.
2. *Золотарев Г.С.* Современные задачи инженерно-геологического изучения оползней, обвалов и селевых потоков в горноскладчатых областях. — В кн.: Геологические закономерности развития оползней, обвалов и селевых потоков. М.: Изд-во МГУ, 1976, вып. 1.
3. *Кюнцель В.В., Тарасова Г.И.* Методы регионального прогнозирования оползней. Обзор ВИЭМС Министерства геологии СССР. Сер. Гидрогеология и инженерная геология. М., 1977.
4. *Парецкая М.Н.* Ползучесть и длительная прочность юрских глинистых пород Подмосковья. — Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии. М.: ВСЕГИНГЕО, 1971, вып. 35.
5. *Попов И.В., Бондарик К.Г., Розовский Л.Б.* Задачи и методы долгосрочного прогноза инженерно-геологических условий. — В кн.: Рациональное использование земной коры. М.: Недра, 1974.
6. *Сергеев Е.М.* Современные проблемы и задачи инженерной геологии. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1977, № 11.

УДК 624.131.25

М.В. РАЦ, Н.Б. ИВАНОВА, Г.Л. РУСИН, Б.Г. СЛЕПЦОВ

РАСЧЕТ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

Результаты массовых измерений параметров трещиноватости, выполняемых при инженерно-геологических исследованиях скальных массивов, используются лишь как материал для районирования массива и его качественной оценки. Характеристики блочности, деформационных и фильтрационных свойств получают путем проведения малочисленных дорогих и трудоемких натуральных экспериментов. Для оценки трещинной пустотности до сих пор часто пользуются величиной "коэффициента трещинной пустотности", дающей оценку, в среднем в полтора раза заниженную по сравнению с действительной объемной трещинной пустотностью.

Еще в 60-х годах в советской инженерной геологии оформилась концепция массива горных пород как системы, свойства которой определяются двумя факторами: свойствами горных пород (материала, из которого построен массив) и структурой массива, т.е. строением сети трещин, разбивающих массив. Эта концепция логически приводила к необходимости построения расчетных методов оценки свойств массива, использующих информацию о свойствах породы и о структуре сети трещин [4]. Подобные расчетные методы уже предлагались для решения отдельных задач в инженерной и нефтяной геологии, а также в механике горных пород, гидрогеологии и гидротехнике. Однако лишь в самые последние годы развитие этих методов и одновременно методики изучения трещиноватости позволило синтезировать рассматриваемый подход в виде единого комплекса программ для ЭВМ, позволяющего одновремен-

но производить оценку объемной трещинной пустотности, блочности, водопроницаемости и деформируемости массива.

Исходной информацией для расчетов служат свойства горных пород в образцах, а также документация трещин, выполненная по методике [3, 7] с указанием угла (β) и азимута (α) падения, густоты (a) и раскрытия трещин (b), а также наличия и свойств заполнителя.

Посредством программы, реализующей обработку информации по трафарету Брайча с сеткой Коврайского, выделяются системы трещин с указанием средних значений угла и азимута падения и средних значений раскрытия для каждой системы. С помощью программы обработки данных, полученных по методу ломаной линии А.В. Количко, рассчитывается среднее расстояние (a) между трещинами в выделенных системах. На основе этих данных определяются пустотность и блочность массива по известным формулам, представленным в работах [3, 4].

Автоматизированное выделение систем трещин и их характеристика представляют интерес для решения ряда структурно-геологических задач, районирования массива и его качественной оценки, а также служат промежуточной информацией для расчета фильтрационных и деформационных характеристик массива.

Фильтрационные характеристики массива, такие, как коэффициент фильтрации (K_{ϕ}) в заданном направлении (среднеобъемное значение) и фильтрационная анизотропия, рассчитываются посредством программы, реализующей модифицированный тензорный метод [2]. При этом K_{ϕ} в заданном направлении рассчитывается по формуле

$$K_{\phi} = f \frac{\gamma_B}{12\mu} \sum_{i=1}^n \kappa_i \frac{b_i^3}{a_i} \left\{ 1 - [\sin\beta_i (\cos\alpha_i \cos\varphi + \sin\alpha_i \cos\rho) + \cos\beta_i \cos\gamma]^2 \right\}, \quad (1)$$

где ρ , φ , γ — углы наклона вектора градиента напора к осям координат (восток, север, зенит); κ — поправка, учитывающая шероховатость стенок трещин, по В.Н. Жиленкову и др. [1], при среднем раскрытии трещин в массиве меньше 0,1 см (при больших значениях средних раскрытий κ принимается равным единице); γ_B , μ — удельный вес и коэффициент динамической вязкости воды соответственно; b_i — средние раскрытия трещин в системах, определенные с учетом их заполнения; f — поправочная функция, с помощью которой осуществляется модификация известного ранее тензорного метода [7]. С помощью f учитывается взаимодействие потоков при пересечении трещин, поле истинных раскрытий, режим движения и т.д., т.е. функция f как бы связывает фильтрацию в реальной трещиноватой среде с фильтрацией в фиктивной среде с усредненными характеристиками трещиноватости.

Расчет поправочной функции производится по формулам: при среднем раскрытии трещин в массиве $\leq 0,1$ см

$$f = 0,34 \cdot M_N^{-0,3} \cdot V_N^{0,9} \cdot e^{-(1,4 \cdot V_b + 2,5 \cdot V_b^2)} \quad (2)$$

при среднем раскрытии от 0,1 до 1 см

$$f = 0,064 \cdot M_N^{-0,7} \cdot V_N^{0,8} \cdot e^{-(3,2 \cdot M_B + V_B + 3,3 \cdot V_B^2)}. \quad (3)$$

При больших значениях средних раскрытий используется последняя формула с некоторой модификацией параметра M_B .

В формулах (2), (3) M , V — символы среднего и коэффициента вариации параметра, указанного в индексе; $N = \frac{\sin^2 \lambda}{a}$, где λ — угол между градиентом напора и нормалью к рассматриваемой системе трещин.

Задача нахождения главных направлений фильтрационной анизотропии и коэффициентов фильтрации в этих направлениях сводится к задаче о собственных значениях и собственных векторах тензора водопроницаемости [7], коэффициенты которого скорректированы посредством вышеуказанной поправочной функции. Среднеобъемное значение K_f находится как среднее арифметическое главных коэффициентов фильтрации.

Модуль деформации массива определялся по известной формуле К.В. Руппенейта [8], обобщенной на случай произвольного направления и модифицированной в результате использования другой модели деформации одиночной трещины под действием нормального напряжения, разработанной в Лаборатории математических методов [9]. По сравнению с моделью К.В. Руппенейта она не требует знания относительной площади скальных контактов.

Величина относительной деформации трещины определяется по формуле

$$\Sigma = \sqrt{\frac{\sigma_v}{\sigma_k}}, \quad (4)$$

где σ_v — нормальное к стенкам трещины напряжение; σ_k — предел прочности на сжатие материала скальных контактов, определяемый посредством соответствующих лабораторных испытаний образцов.

Указанная формула получена на основе представления скальных контактов в виде усеченных, равных между собой конусов, большие основания которых вплотную друг к другу покрывают стенки трещины, а малые моделируют контактную поверхность. При такой аппроксимации упругие деформации имеют величину порядка $1,5 \cdot 10^{-4}$, и ими можно пренебречь. Преобладающими являются деформации хрупкого разрушения материала скальных контактов. Задача сводится к определению зависимости высоты усеченного конуса от параметра ξ (относительной площади скальных контактов). Исследования в этом направлении продолжаются.

Вычисленные значения характеристик относятся к выделенным согласно конкретной геологической ситуации участкам (физическим точкам) массива, в пределах которых проведена документация трещиноватости. В силу неоднородности массива полученные результаты всегда обладают большим разбросом, поэтому возникает вопрос о выборе расчетных значений пустотности, блочности, водопроницаемости и деформируемости для всего массива или отдельных его частей. Вопрос этот ре-

шается тем или иным путем в зависимости от характера инженерной задачи, выбранного метода ее решения и степени неоднородности массива.

В зависимости от названных условий на практике часто производится осреднение характеристик для различных элементов макронеоднородности, соизмеримых с определяющей областью задачи. При обработке данных по водопроницаемости и деформируемости необходимо иметь в виду, что расчетные методы дают характеристику фильтрационной и деформационной анизотропии массива в каждой физической точке, и статистической обработке могут подвергаться направленные значения коэффициентов фильтрации и модулей деформации. При этом в зависимости от решаемой задачи могут быть получены осредненные характеристики в любом заданном направлении. С целью взаимной увязки различных методов оценки характеристик полезно на стадии предварительной статистической обработки исследовать корреляцию между расчетными и экспериментальными определениями блочности, коэффициентов фильтрации и модулей деформации.

Для получения эффективных оценок водопроницаемости массива, имеющего иерархическое строение, значения водопроницаемости внутриблоковой (т.е. порово-микротрещинной) и по сети макротрещин складываются. Водопроницаемость тектонических разрывов учитывается индивидуально или входит в общую сумму в зависимости от конкретной гидрогеологической ситуации.

С целью оценки влияния неполноты информации о структуре сети трещин в массиве на результаты расчета рекомендуется проведение многовариантных расчетов на ЭВМ. Задавая различные (в пределах возможных вариаций) значения параметров сети трещин, в том числе водопроницаемости и деформируемости их заполнителя, следует выявить возможные колебания результатов решения инженерной задачи. При этом попутно выявляются характеристики массива, требующие дополнительного детального исследования. Такой способ исследования был применен при оценке водопроницаемости правобережного примыкания Богучанской ГЭС, выполнявшейся по заказу Гидропроекта. Кроме того, отдельные элементы предлагаемой методики были проверены, и результаты расчетов сопоставлены с натурными исследованиями блочности (в Ну-реке и Рогуне), деформируемости (по данным работы [8]) и водопроницаемости (по целому ряду объектов изысканий ПНИИИСа и Гидропроекта). Вся методика в комплексе была применена при обработке большого объема информации о трещиноватости массива Рогунской ГЭС на р. Вахш. Обработано 2000 пог.м штолен, где задокументировано ≈ 40000 трещин. Полученные данные о пустотности, блочности, водопроницаемости и деформационных характеристиках используются в проектировании.

Изложенные методы дают результаты, сопоставимые с данными опытно-фильтрационного опробования и штамповых испытаний, и значительно дополняют натурные исследования, позволяя производить интерполяцию их результатов, планировать места проведения и количество сложных экспериментов, а также районировать массив непосредственно по значениям расчетных характеристик. Задачей дальнейших исследований

является расширение комплекса программ путем включения в него оценок прочностных свойств массива, а также разработка методики оптимального совместного использования рассмотренных расчетных оценок с прямыми натурными определениями и геофизическими методами оценки свойств массива. Интерес представляет также исследование фильтрации в деформируемом трещиноватом массиве, возможности которого открываются изложенной методикой [5].

А B S T R A C T

Problems of the estimation of permeability, straining, block dimensions and "hollowness" of rock massives of the basis of the treatment of a number of measurements of jointing parameters (angle and azimuth of dip, density and opening of joints as well as the properties of the rock in a massif and those of the joint filler) are under consideration.

Suggested methods are able to give results analogous to those of filtration sampling and static loading tests and considerably fill them up. They have been applied to the treatment of data of investigations for several water-power stations. The results of the calculations are used at construction.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Жиленков В.Н., Гуляева Л.В., Овчинникова А.Б.* О влиянии на водопроницаемость трещин шероховатости их стенок. — Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 48. Л.: Энергия, 1970.
2. *Иванова Н.Б.* Модифицированный тензорный метод расчета направленного коэффициента фильтрации трещиноватых скальных массивов с системной сетью трещин по параметрам трещиноватости. — В кн.: Инженерные изыскания в строительстве, вып. 1 (54). М.: ПНИИИС, 1977.
3. *Рац М.В.* Статистико-генетический метод изучения трещиноватости. — Бюл. МОИП, отд-ние геол., 1963, № 6.
4. *Рац М.В., Чернышев С.Н.* Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970.
5. *Рац М.В., Фишман Ю.А., Иванова Н.Б., Русин Г.Л., Гузова Т.П.* Расчет зависимости коэффициента фильтрации от напряженного состояния трещиноватого скального массива. — В кн.: Инженерные изыскания в строительстве, вып. 4 (69). М.: ПНИИИС, 1978.
6. Рекомендации по изучению трещиноватых горных пород при инженерных изысканиях для строительства. М.: Стройиздат, 1974.
7. *Ромм Е.С.* Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1966.
8. *Руппенейт К.В.* Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1975.
9. *Русин Г.Л.* Расчет зависимости ширины трещины в массиве горных пород от сжимающей нагрузки. — В кн.: Инженерные изыскания в строительстве, вып. 4 (69). М.: ПНИИИС, 1978.

С.Д. ВОРОНКЕВИЧ, Л.А. ЕВДОКИМОВА,
Н.А. ЛАРИОНОВА, Е.Н. ОГОРОДНИКОВА

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛ ТЕПЛОВЫХ СТАНЦИЙ

Бурный рост энергетической и технической оснащенности человека привел к тому, что его деятельность в настоящее время меняет облик земной поверхности и вносит значительные изменения в верхние горизонты литосферы и подземной гидросферы, которые по масштабам и последствиям можно сопоставить с геологическими процессами. А.Е. Ферсман, анализируя ход эволюционного развития геохимических процессов, пришел к выводу о том, что геологические явления, возникающие в результате производственной деятельности человека, следует выделять в особую макросистему, соизмеримую с понятиями "атмосфера", "гидросфера", "биосфера", "зона гипергенеза" и т.д., названную им **техногенезом**.

В зависимости от характера и интенсивности воздействия человека на геологическую среду в пределах верхних горизонтов литосферы и на поверхности Земли формируются искусственные физические тела определенных геометрических очертаний — **техногенные системы**. Они могут быть объединены в три основные группы (табл. 1).

Несмотря на многообразие обстановок, характерных для различных форм техногенеза, формирующиеся при этом искусственные тела обладают некоторыми общими признаками. Подобные тела или их совокупность, обладая конечными размерами и определенными границами, представляют собой вполне определенные термодинамические системы. Причем все возникающие в этом случае обстановки являются сложными, открытыми системами; они находятся в постоянном массо- и энергообмене с окружающей средой, являясь одновременно составными частями биосферы и зоны гипергенеза (в трактовке А.Е. Ферсмана). Это определяет отсутствие истинной равновесности рассматриваемых систем и преобладаний в них неравновесных состояний и метастабильных равновесий. Поэтому анализ процессов, происходящих в искусственных телах, можно проводить с применением методов химической термодинамики преимущественно на основе определения отклонения реальных систем от химически равновесных и установления направления развития этих систем.

Вторая особенность техногенных систем связана с тем, что производственная деятельность человека оказывает в значительных масштабах такие воздействия на геологическую среду, где химическая составляющая играет решающую роль, что приводит к резкому изменению химических (а точнее, геохимических) параметров природных сред.

Изменение величин и соотношений основных геохимических параметров различных частей техногенных систем обуславливает видоизменение существовавших и проявление новых физико-химических процессов

Таблица 1

Основные типы техногенных систем

Типы искусственных тел	Виды производственной деятельности человека		
	Инженерно-строительная	Горно-техническая	Промышленное производство
Участки литосферы, измененные вследствие неконтролируемого изменения напряженного состояния, водного и теплового режимов, физико-химических параметров среды	Массивы пород, измененные при возведении и эксплуатации объектов промышленного, гражданского, гидротехнического и подземного строительства	Массивы пород, измененные в ходе применения различных способов разработки твердых и жидких полезных ископаемых	Массивы пород, измененные под влиянием инфильтрации жидких промышленных отходов и производственных вод
Массивы пород, искусственно преобразованные вследствие целенаправленного воздействия	Массивы пород, преобразованные в целях обеспечения устойчивости зданий и сооружений	Массивы пород, преобразованные в результате применения методов технической мелиорации	снижения влияния промышленных отходов и производственных вод на окружающую литосферу
Искусственно созданные поверхностные отложения (образования)	Толщи насыпных и намывных грунтов, дорожно-строительные материалы на основе укрепления грунтов вяжущими	Отвалы и намывы выработанных пород	Твердые отходы различных производств (золы, шлаки, хвосты обоганительных фабрик и т.п.)

и может вызывать разнообразные инженерно-геологические последствия: изменение напряженного состояния пород, водного и теплового режимов, изменение механической прочности и фильтрационной способности пород и т.д. Это приводит к формированию особых **техногенных геохимических обстановок**, в пределах которых происходит интенсивная геохимическая переработка вещества.

Специфика техногенных систем, образующихся в результате искусственного укрепления грунтов, определяется тем, что конкретные черты геохимических обстановок и сущность их инженерно-геологических особенностей являются следствием **целенаправленного воздействия**. В связи с этим характер и интенсивность физико-химических процессов должны не только прогнозироваться, но и планироваться путем сознательного влияния на формирование структуры искусственных грунтов. Успешное решение этой проблемы тесно связано с раскрытием механизма и кинетики процессов структурообразования, присущих различным формам искусственных тел, создаваемых при использовании методов мелиорации грунтов.

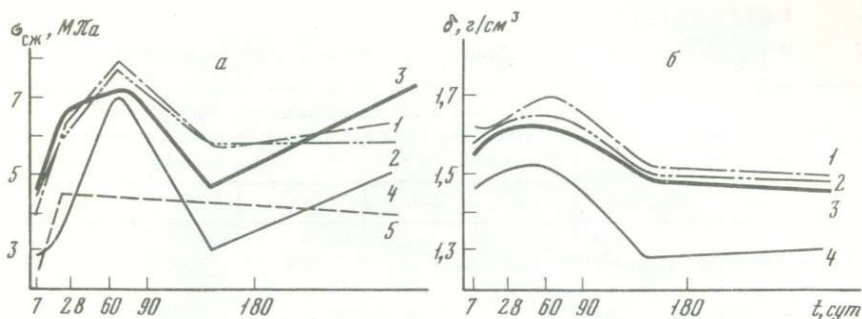
Приведем результаты такого подхода на примере сложных систем, представляющих собой смеси на основе дисперсных (главным образом глинистых) грунтов с добавками портландцемента и зол гидроудаления тепловых станций. Выбор объектов исследования обусловлен тем, что в настоящее время в значительных масштабах происходит накопление зольных и золошлаковых отходов тепловых станций. Одним из путей их реализации является использование зол для создания дорожно-строительных материалов при укреплении дисперсных грунтов. Результаты исследований имели своей задачей изучение процессов структурообразования и связанных с ними изменений свойств золоцементогрунтов во времени в целях установления закономерностей процесса создания качественных дорожно-строительных материалов.

Сложность, многокомпонентность и неравновесность подобных систем обуславливают необходимость комплексного подхода при решении задач, связанных с раскрытием физико-химических процессов формирования структуры искусственного грунта.

Исследования проводились с использованием зол гидроудаления каменных и бурых углей кислого состава. Укреплению подвергались гумусированные глинистые грунты, отобранные из почвенных горизонтов предкавказского чернозема: глинистый грунт из элювиального горизонта A_1' с глубины 0,4–0,7 м; глинистый грунт из иллювиального горизонта B_1 с глубины 0,7–1,0 м. Исследуемые грунты соответственно содержат глинистых частиц 44 и 42%, имеют число пластичности 22,6 и 19,6%, карбонатов 3,30 и 29,6%, гумуса 2,49 и 1,19%. Золо пылеватого состава отобраны из гидроотвалов, причем зола каменного угля претерпела большие изменения при воздействии атмосферных агентов. В результате вся окись кальция перешла в карбонат кальция, повысилось содержание легко окисляемых органических веществ до 4,65–5,33%, подвижной двуокиси кремния – 0,84%; валовое содержание основных компонентов составляло: SiO_2 – 30,95%; Al_2O_3 – 11,82%; CaO – 3,12%, SO_3 – 0,16%, потери при прокаливании (п.п.п.) – 38,66%. Состав буроугольной золы по данным валового анализа: п.п.п. – 0,42%, SiO_2 – 43,25%, Al_2O_3 – 34,35%, CaO – 5,22%, SO_3 – 0,60%. В качестве вяжущего использовался портландцемент марки 400 алитово-белитового состава, содержание C_3A не превышало 2–3%, C_4AF – 12–15%. Свободная окись кальция отсутствует. Удельная поверхность цемента – 3380 $см^2/г$; нормальная густота цементного теста – 25,5%.

Процессы структурообразования золоцементогрунтов изучались с применением физико-химических, рентгенометрических, термических и электронно-микроскопических методов.

Экспериментально установлено, что формирование структуры и свойств золоцементогрунтов зависит не только от состава и свойств грунтов и зол, но и от продолжительности пробуждения активности зол в щелочной среде. Физико-химическая активность грунтов в условиях щелочной реакции и насыщенности жидкой фазы известью обуславливает быстрое формирование хемосорбционных новообразований, соответственно уменьшение доли новообразований продуктов гидратации цемента, и тем большее, чем выше содержание глинистоколлоидных фрак-



Р и с. 1. Изменение прочности (а) и объемной массы скелета (б) золоцементогрунтов во времени (грунт — чернозем горизонт A_1'' , зола — гидроудаления, каменноугольная)

Добавка золы: 1 — 10%, 2 — 20%; 3 — 30%; 4 — 50%; 5 — 0%

ций в грунте и ниже его карбонатность. Взаимодействие глинистых минералов с известью приводит к изменению состава глинистых минералов. Кристаллизация новообразований и удельное содержание кристаллической фазы в золоцементогрунтах при прочих равных условиях зависят от состава грунта. Сложное взаимодействие упомянутых физико-химических процессов в пространстве и во времени контролирует изменение физико-механических свойств золоцементогрунтовых композиций. В результате исследований установлено, что процесс твердения таких систем осуществляется стадийно.

Первая стадия (от 1 до 90 сут) характеризуется ростом прочности (рис. 1), что обусловлено гидратацией цемента, формированием хемосорбционных новообразований на поверхности глинистых частиц. Период характеризуется ростом объемной массы скелета систем в связи с формированием гидратных новообразований типа гиллебрандита, ксо-нотлита и др.

Вторая стадия (от 90 до 180 сут) характеризуется резким ростом пуццолановых реакций в результате возросшей активности золы и глинистого грунта (горизонт A_1'') в результате щелочной активизации. Связывание извести компонентами золы и грунта (табл. 2) определяет нестабильность гидратных новообразований (продуктов гидратации цементных минералов), их разрушение и формирование низкоосновных гидратных новообразований, более устойчивых в условиях понижающейся концентрации в жидкой фазе извести. Кристаллизация гелевых новообразований на поверхности гидратированной золы обуславливает появление усадочных микродефектов вокруг частиц золы (рис. 2). Совокупность этих процессов приводит к снижению прочности и объемной массы скелета золоцементогрунтов, и тем большему, чем выше добавка золы и ниже карбонатность глинистого грунта.

Третья стадия (от 180 до 360 сут) характеризуется стабилизацией физико-химических и химических процессов, кристаллизацией новообразований — продуктов пуццолановой реакции. В этот период характер рентгенограмм меняется незначительно. На поверхности зольных частиц

Т а б л и ц а 2

Изменение количества адсорбированного иона кальция во времени

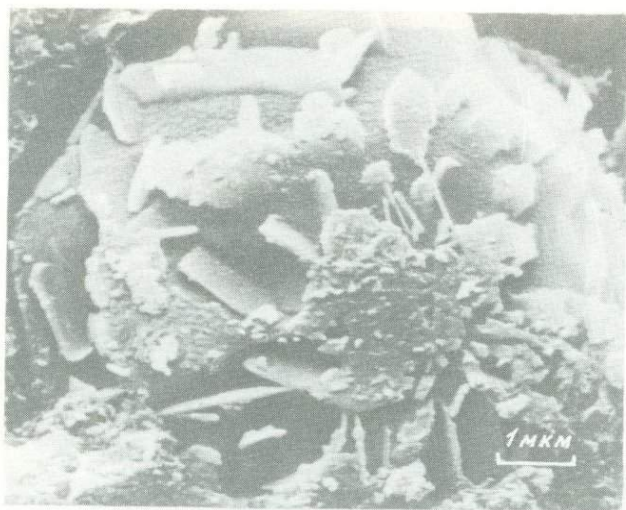
Наименование объекта исследования	Количество адсорбированного иона кальция в мг-экв на 100 г адсорбента за период (время в сутках)				
	1	7	14	28	180
Предкавказский чернозем гор. А ₁	70	90	102	114	182—190
Зола гидроудаления каменных углей	7	14	16	23	92—103
Зола гидроудаления бурых углей	14,5	23	39	39,5	93

при сравнительно небольших увеличениях заметны сформировавшиеся кристаллы гидросиликатов с основностью ≤ 1 . Количество кристаллических новообразований при прочих равных условиях больше, и кристаллизация новообразований наступает раньше при укреплении сильно карбонатного глинистого грунта (гор. В₁). В скоплениях глинистых частиц и их агрегатов кристаллические новообразования отсутствуют. Этот период отличается некоторым ростом прочности (см. рис. 1). Относительное увеличение прочности тем больше, чем выше добавка золы.

Таким образом, основные закономерности структурообразования золоцементогрунтов на основе глинистых грунтов и зол гидроудаления каменных углей в значительной мере обусловлены пуццолановой активностью зол. Ведущая роль процесса пробуждения активности зол доказывается также тем, что аналогичные процессы, но с некоторым сдвигом во времени, наблюдаются в системах на основе песчаных грунтов. Стадия снижения прочности золоцементогрунтов на основе аллювиального мелкозернистого песка отмечена в период от 6 до 12 мес. При укреплении песка 5- и 10%-ными добавками цемента и соответственно 5—10% золы гидроудаления каменных углей в период твердения до 6 мес наблюдается рост прочности.

Сравнительно низкая физико-химическая активность песчаного грунта и замедленная активизация золы способствуют формированию прочного кристаллического каркаса (рис. 3, а). На фотографии отчетливо видны кристаллы гидратных новообразований, сформировавшиеся на поверхности зольных и песчаных частиц. Среди новообразований преобладают гексагональные кристаллы гидрогеленита, которые отсутствуют в цементогрунте. Наряду с гексагональными кристаллами имеют место волокнистые кристаллы, образующие мостики между частицами золоцементогрунта.

В период от 6 до 12 мес твердения наблюдается резкое снижение прочности золоцементогрунтовых образцов (рис. 3, б). Электронно-микроскопическими исследованиями образцов в этот период обнаружен распад и разложение кристаллов гексагональной формы. Коррозия гексагональных кристаллов проявляется в виде разрушения углов и граней,

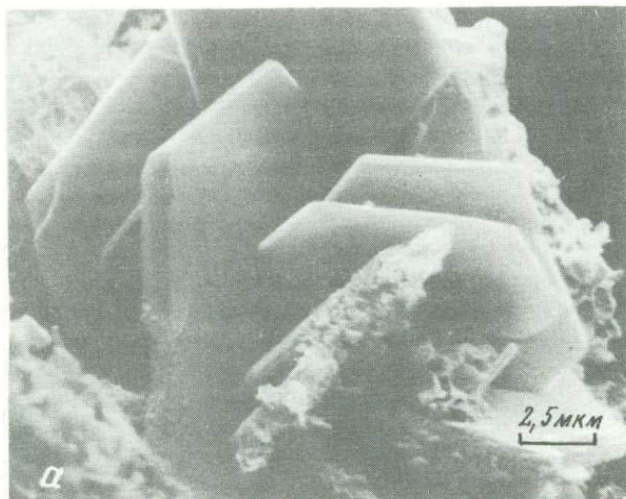


Р и с. 2. Электронномикроскопический снимок структуры золоцементогрунтовой системы на основе предкавказского чернозема гор. A_1 после 12 мес твердения

расслоения их по плоскостям спайности. Число волокнистых кристаллов уменьшается. На поверхности частиц песка и золы возрастает число укороченных кристаллов, собранных в розетки. Число кристаллических контактов уменьшается. После 12 мес наблюдается частичное восстановление прочности, связанное с ростом числа кристаллических мостиков. Более энергичное связывание извести в золоцементогрунтах с добавками бурых углей на первой стадии твердения обуславливает меньшее развитие пуццолановых реакций на поздних сроках. Рентгеноструктурный анализ показал неизменность муллита, входящего в состав золы бурого угля в течение года, что свидетельствует об устойчивости золы в этот период. С этим, в частности, связана слабая выраженность второй стадии в подобных системах.

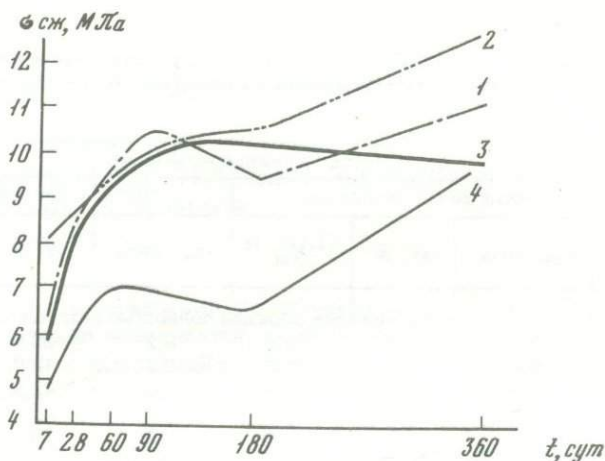
При укреплении сильнокарбонатного глинистого грунта (гор. B_1) добавками цемента и золы каменного угля в лабораторных условиях были получены более высокие величины прочности (рис. 4), чем при укреплении глинистого грунта гор. A_1 . В процессе твердения таких смесей также прослеживается стадийность со спадом прочности во второй стадии.

Однако выраженность спада меньшая. В ходе твердения золоцементогрунта на основе чернозема из иллювиального горизонта глинистые минералы грунта практически не изменяются. Хемосорбция продуктов гидратации, и в первую очередь $Ca(OH)_2$, происходит на карбонатах, образующих чехлы на глинистых агрегатах, что подтверждается исчезновением на рентгенограмме ряда характерных линий. Отсутствие условий непосредственного взаимодействия глинистых минералов грунта с известью определяет меньшее разложение продуктов гидратации цемента, меньший дефицит извести в жидкой фазе системы и более раннюю их



Р и с. 3. Электронномикроскопические снимки структур золоцементогрунтовых систем на основе аллювиального мелкозернистого песка

а — после 6 мес твердения, б — после 12 мес



Р и с. 4. Изменение прочности золоцементогрунтов во времени (грунт — чернозем горизонта B_1 , зола гидроудаления, каменноугольная)
Добавка золы: 1 — 10%, 2 — 20%; 3 — 30; 4 — 50%

раскристаллизацию. Высокая карбонатность грунта определяет формирование новообразований, более насыщенных известью (фошагит и др.).

В совокупности эти процессы обуславливают высокую прочность в воздушно-влажном и водонасыщенном состояниях, морозостойкость золоцементогрунтов на основе сильно карбонатного грунта. Следует подчеркнуть, что и золоцементогрунты на основе гумусированного горизонта A''_1 даже во второй стадии твердения имеют прочность и морозостойкость более высокую, чем цементогрунты с той же добавкой цемента (см. рис. 1, табл. 3), что связано с заменой набухающего грунта золой и ростом доли кристаллизационных контактов.

Приведенные результаты показывают, что высокая устойчивость золы в щелочной среде определяет запоздалое развитие пуццолановых реакций. Последние проявляются на стадии, когда формирование хемосорбционных новообразований за счет глинистых минералов грунта и гидратных новообразований цемента уже завершается. Эти процессы сопровождаются глубокой структурной перестройкой золоцементогрунтов и изменением их свойств.

Кристаллизация вторичных гелевых новообразований на поверхности золы приводит к появлению микроусадочных пространств вокруг частиц золы. Образование низкоосновных соединений, полное связывание извести резко сокращает активизацию золы, вследствие чего в системе наступает равновесие. Дальнейшая раскристаллизация новообразований приводит к частичному зарастанию микроусадочных пространств и повышению количества кристаллических контактов.

Эффект от добавок зол гидроудаления в глинистые грунты при укреплении их цементом определяется: заменой относительно неустойчивых агрегатов и микроагрегатов на сравнительно более прочные частицы золы; формированием кристаллических новообразований на поверхности

Таблица 3

Прочность и морозостойкость золоцементогрунтов в зависимости от добавки золы в систему — гумусированный глинистый грунт + 10% портландцемента

Добавка золы гид- роудаления каменного угля	После 10 циклов испытания					
	после 28 сут твердения			после 90 сут твердения		
	$\sigma_{сж}$, МПа	W , %	K_M	$\sigma_{сж}$, МПа	W , %	K_M
0	после 5 циклов образцы полностью разрушились					
10	2,8	16,2	0,56	6,2	23,4	0,7
20	2,4	16,5	0,46	3,7	18,8	0,61
30	4,0	16,6	0,65	4,5	22,9	0,65
40	5,0	16,8	0,83	8,3	21,1	1,20
50	3,0	15,8	0,60	3,3	19,4	0,81

части золы, чего не наблюдается на поверхности глинистых микроагрегатов грунтов; меньшей набухаемостью золы, что гарантирует стабильность кристаллических новообразований в условиях переменной влажности и в ходе переменного замерзания и оттаивания.

Совокупность выявленных физико-химических процессов позволила выделить основные стадии твердения золоцементогрунтов, имеющие важное практическое значение.

ABSTRACT

As a result of the industrial activity of the Man within the upper layers of the lithosphere and on the Earth's surface there has been developing a zone of technogenesis which consists of the certain physical bodies — the technogenic systems. A changing in values and relations between the general geochemical parameters within the different parts of the technogenic systems with space and time is responsible for the active geochemical processing of substance accompanying by the various engineering geological phenomena.

In this paper the results of the investigations in kinetics and mechanism the fabric-formation have presented. As an example it was taken the complex systems in the form of compositions based on soils with the additions of cement and ashes provided by the thermal stations.

Studies performed made possible to reveal the principle physico-chemical processes which usually controlling the fabric-formation in ash-cement-soil systems. It was found the role of the pozzolanic reactions, adsorption and chemisorption processes in a forming the new hydrated minerals and their rebuilding with time. The combination of the revealed physico-chemical processes made a possibility to propose the principle stages in the hardening process of the ash-cement-soil mixtures that is a great deal of practical importance in the soil stabilization for the road-construction purposes.

Р.С. ЗИАНГИРОВ, Л.С. ВОСКРЕСЕНСКАЯ, Э.Р. ЧЕРНЯК

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ (НА ПРИМЕРЕ ШЛАКОВ И ЗОЛ)

Слабая изученность инженерно-геологических свойств зол ТЭЦ и металлургических шлаков объясняется, с одной стороны, сложной спецификой этих техногенных образований и, с другой, тем, что официально в номенклатуру искусственных грунтов они были включены только в 1975 г. после выхода в свет СНиП 15-74.

Золы ТЭЦ и металлургические шлаки имеют сложный химико-минералогический состав и обладают целым рядом особенностей, не свойственных природным и даже искусственным грунтам аналогичного состава.

Для этих грунтов характерны высокая микро- и макронеоднородность состава и сложения, наличие крупных включений в виде обломков металла, футеровки доменных печей (для шлаков), своеобразные структурно-текстурные особенности (наличие микрослоистости у зол), определенная зональность в распределении свойств, закономерное изменение свойств во времени. Металлургические шлаки обладают специфическими свойствами: набухание, цементирующая способность (гидравлическая активность), различного рода распады, самоуплотнение, самовозгорание. Эти явления связаны с физико-химическими процессами, которые протекают под влиянием внешних реагентов и зависят от химико-минералогического состава шлаков.

Для зол характерны остроугольная форма и значительная остеклованность частиц, наличие микропористости и весьма большой удельной поверхности, что обуславливает высокую естественную влажность, пористость и небольшую объемную массу скелета. Некоторые золы, например золы сланцев, обладают также гидравлической активностью, в связи с чем в отвалах в процессе литификации они подвергаются уплотнению и упрочнению.

Своеобразие физико-механических свойств рассматриваемых техногенных грунтов связано со спецификой их образования. Золы и шлаки в процессе своего образования претерпевают высокие термические напряжения (1200-1600° и выше), что ведет к образованию сложных по химико-минералогическому составу новообразований. Кроме этого, специфика физико-механических свойств этих техногенных грунтов определяется в процессе складирования этих отходов производства в отвалы. Золы в связи с малой интенсивностью намыва (< 0,01 м/сут) приобретают микрослоистое сложение, что обуславливает чрезвычайную неоднородность по грансоставу и свойствам по вертикали. На свойства металлургических шлаков большое влияние оказывает режим охлаждения в процессе их слива в отвалы, в результате чего образуются очень неоднородные по своему текстурно-структурному строению и свойствам

грунты в связи с большим разнообразием химического состава сливаемых шлаков и различным их отношением к внешним реагентам. При этом шлаки с повышенной основностью (мартеновские) подвергаются процессам распада, в основном в процессе слива в отвалы. В других разновидностях шлаков процессы распада протекают в течение примерно одного года. Особенно опасны в шлаковых отвалах явления набухания, которые могут протекать в течение длительного времени (от 5 до 20 лет и более) и вызываются гидратацией и карбонизацией свободных окислов Са и Mg.

Рассматриваемые техногенные грунты отличаются определенным сходством с некоторыми типами искусственных и природных образований. Так, доменные шлаки имеют сходство со скальными породами различной степени выветрелости. Это сходство усиливается благодаря процессам распада, вызывающим появление трещин, разрывов, зон дробления, что характерно для процессов выветривания коренных пород после их выхода на дневную поверхность. Мартеновские шлаки (особенно не-сепарированные) по своей текстуре и другим особенностям напоминают крупнообломочные грунты. Формирование золоотвалов в процессе намыва сопровождается фракционированием частиц, в связи с чем в боковой зоне образуются преимущественно песчаные (золы торфа) и дресвяно-песчаные (золы угля), в промежуточной — песчано-супесчаные грунты, имеющие сходство с намывными песками, в прудковой — формируется супесчано-суглинистое ядро. Причем состав намываемых зол зависит не только от вида топлива и способов его сжигания, а также от схемы намыва — идет ли намыв по общему или по раздельному пульповоду.

С целью изучения строительных свойств указанных техногенных грунтов ПНИИСом в 1975—1977 гг. были проведены комплексные инженерно-геологические исследования зол ТЭЦ различных видов топлив и с различной давностью намыва и металлургических шлаков (доменных и мартеновских) в условиях их естественного залегания с применением полевых (статическое и динамическое зондирование, штамповые испытания, крыльчатка, вибронзондирование, вертикальное электрическое зондирование) и комплекса лабораторных методов. Исследованы золоотвалы торфа Ярославской ТЭЦ с давностью намыва: > 8—10 лет (I площадка), > 3—5 лет (II площадка) и текущего намыва (III площадка), намывные по схеме общего пульповода, а также отдельные золовый (I площадка) и шлаковый (II площадка) отвалы ГРЭС г. Апатиты текущего намыва (отходы печорского и кузнецкого каменного угля) и золошлаковый отвал Приднепровской ГРЭС от донецкого антрацита (общий пульповод) с давностью намыва < 3 лет. Экспериментальные исследования металлургических шлаков проводились на отвалах доменных (возраст 15—20 лет) и мартеновских (1—3 года) шлаков Череповецкого металлургического завода и частично на отвалах доменных шлаков (10 лет) Ждановского завода им. Ильича. При обработке результатов исследований физико-механических свойств шлаков с целью выявления зависимостей между отдельными показателями свойств нами были использованы имеющиеся литературные данные, а также материалы исследований Харьковского института "Гипросталь" и "ХарьковГИИНТИЗ".

Исследуемые грунты при исследовании приравнялись к аналогам естественных грунтов. Исследования показали, что промышленные отходы требуют индивидуального подхода при их изучении и различных методов исследования, в зависимости от вида, состава и способа производства.

При исследовании доменных распавшихся и мартеновских неспарированных шлаков, а также некоторых разновидностей грунтов, залегающих в боковых зонах золоотвалов (песчано-дресвяных), следует применять методы, используемые обычно для крупнообломочных грунтов: определение объемной массы в целике, разгрохотка, определение показателей сдвига в шурфах методом выпирания, обрушения. При испытании этих грунтов на сжимаемость могут быть использованы как распорные, так и обычные штампы. Применение последних возможно с помощью прямого нагружения или пригрузочной платформы.

К доменным устойчивым шлакам, аналогам скальных пород, применимы методы исследований для скальных грунтов (определяется сопротивление одноосному сжатию, водостойкость и морозостойкость, влагоемкость и т.д.). Принимая во внимание, что мартеновские и основные доменные шлаки обладают специфическими особенностями (различные виды распада и склонность к набуханию), при их исследовании необходимо определять химический и минералогический состав, а также склонность к распаду и набуханию. Эти виды определений должны выполняться для всех разновидностей шлаков, залегающих в отвалах в пределах сжимаемой зоны.

Золоотвалы ТЭЦ требуют применения различных полевых методов исследования с параллельным определением свойств лабораторными методами. При этом применяемые полевые методы исследования зол зависят от давности намыва зол. Так, исследование зол торфа текущего намыва в пределах прудковой и частично промежуточной зон рекомендуется проводить с помощью оборудования облегченного типа ЛСГ-2, ПЛГ-1Р. Следует учитывать, что в отличие от природных слабых грунтов (илы, сапропели, торфы) в золах текущего намыва могут встречаться прослойки (песок, гравий шлака) мощностью в несколько сантиметров, существенно затрудняющие использование указанного оборудования.

По истечении 3—5 лет в пределах этих же зон, а также в боковых зонах золоотвалов, независимо от возраста могут применяться все виды полевых работ, которые применяются для аналогичных естественных грунтов песчаного и супесчано-суглинистого состава: зондировочные работы, штамповые, прессиометрические и сдвиговые испытания. При этом на золоотвалах с давностью намыва менее 5 лет, а также в боковых зонах текущего намыва следует использовать зондировочную установку облегченного типа ПЛГ-5. На старых золоотвалах с давностью намыва > 5 лет, а также на отвалах мартеновских сепарированных шлаков при зондировании могут применяться установки УБП-15М, С-979, С-832 и др.

Учитывая наличие в золах микрослоистости, деформационные характеристики зол рекомендуется определять с помощью распорного штампа, что позволит повысить качество и достоверность результатов испытаний в результате получения модуля деформации с двойной повторностью и

Таблица 1

Инженерно-геологическая типизация зол и шлаков

Критерии для подразделения грунтов	Наименование грунта	
	золы ТЭЦ	металлургические шлаки
По технологии производства, явившегося источником накопления отходов	Продукт сжигания торфа Продукт сжигания угля	Доменные Мартеновские
По давности образования	До 3-х лет 3—5 лет Свыше 5 лет	До 1 года Свыше 1 года
По характеру залегания в отвалах	Боковая зона Промежуточная зона Прудковая зона	Доменные устойчивые Доменные расплавленные Мартеновские несепарированные Мартеновские сепарированные
По составу	Аналоги дресвяно-песчаных грунтов Аналоги песчано-супесчаных грунтов Аналоги супесчано-суглинистых грунтов	Аналоги скальных грунтов Аналоги крупнообломочных грунтов Аналоги песчано-пылеватых грунтов

их независимости от свойств отдельного микрослоя, примыкающего к плите штампа.

При инженерно-геологических изысканиях на территориях, сложенных золами и шлаками, схема расположения выработок и система опробования грунтов во многом определяются способом формирования отвалов, взаимным расположением мест слива шлаков и выброса пульпы (при гидронамыве золоотвалов), водосбросных колодцев, дамб обвалования и т.п. В соответствии с этим пункты опробования располагаются по створам, выбранным по предполагаемым главным направлениям изменчивости.

В результате исследований в качестве основы для разработки оптимальных комплексов методов при исследовании физико-механических свойств основных разновидностей зол и шлаков предложена инженерно-геологическая типизация этих грунтов, учитывающая вид исходного топлива, технологические процессы, связанные с накоплением отходов, давность образования, характер залегания и состав (табл. 1).

Проведенные исследования золоотвалов показали, что золы характеризуются неоднородностью по грансоставу и по всем своим показателям свойств, особенно по сжимаемости, в пределах небольших по мощности слоев (макрослоев), что связано с наличием микрослоистости в золах. Коэффициент вариации по многим показателям свойств, особенно по данным динамического и статического зондирования, превышает 30%.

Неоднородность зол по сжимаемости лучше всего устанавливается зондировочными работами (динамическим и статическим), по результа-

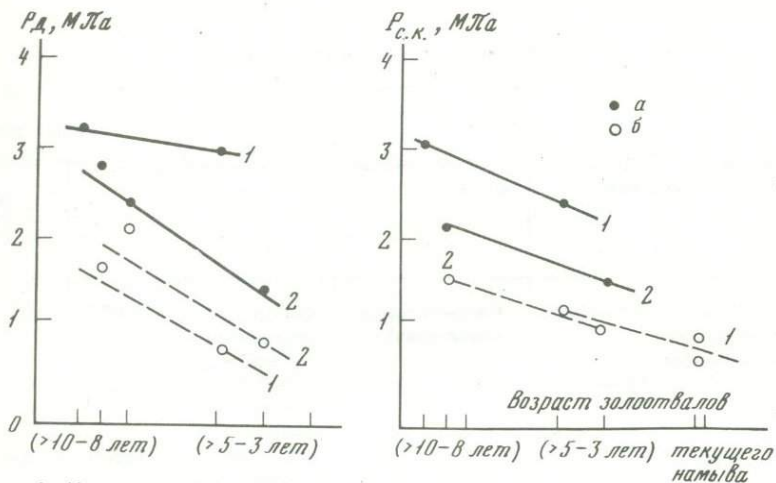


Рис. 1. Изменение условного динамического (P_d) и удельного статистического ($P_{c.k.}$) сопротивления грунта в зависимости от давности намыва на золоотвалах ТЭЦ-1 г. Ярославля (по зонам)

а — до уровня грунтовых вод; б — ниже. 1 — боковая зона; 2 — промежуточная

там которых проведено расчленение толщи золоотвалов на макрослои с одинаковой сжимаемостью, что подтверждается штамповыми и компрессионными испытаниями.

Инженерно-геологические свойства зол определяются не только гранулометрическим составом, что характерно для всех намывных грунтов, но изменяются и от давности намыва золоотвалов, что связано с упрочнением зол во времени. При этом процесс упрочнения лучше проявляется у зол торфа, что обуславливается химико-минералогическим составом, так как они содержат гидравлически активные минералы, способствующие цементации золоотвалов.

На старых золоотвалах торфа ТЭЦ-1 (г. Ярославля), у которых давность намыва превышала 8—10 лет (I площадка), упрочнение зол во времени проявлялось визуально в процессе проходки выработок (проходились с помощью кайла) и проведении зондировочных работ (динамическое зондирование установкой облегченного типа ПЛГ-5 проводить невозможно, а статическое проводилось с трудом), что сказывается на их прочностных и деформационных характеристиках. На этих площадках в толще зол отмечено наличие прослоек слабосцементированных песчаников пылеватого и мелкозернистого состава, образовавшихся в результате цементации песков. Кроме этого, в зоне пруда-отстойника (прудовая или ядерная зона) на I площадке отмечен очень своеобразный макрослой, представленный плотным опоквидным материалом, также упрочненным в результате цементации.

Упрочнение зол во времени по данным динамического и статического зондирования показано рис. 1*.

* Значения P_d и $P_{c.k.}$ даны средневзвешенные на всю глубину толщи золоотвалов в каждом исследованном пункте с учетом мощности макрослоев.

Таблица 2

Основные показатели физических свойств золоотвалов

Наименование ТЭЦ, вид топлива	Давность намыва	Местоположение на отвале	Глубина макро-слоев, м, состав	Показатели гран.	
				$d_{50}, \text{мм}$	$\frac{d_{90}}{d_{10}}$
ТЭЦ-1 г. Ярославля, площадка I (золы торфа)	>8-10 лет	Ядерная (прудовая зона)	0-2,6 (суглинки и супеси)	0,036	10,2
То же	То же	То же	2,6-4,2 (песок пылеватый)	0,069	10,4
"	"	"	4,2-7,8 (супесь пылеватая)	0,026	5,4
"	"	Промежуточная зона	0-1,3 (супеси и суглинки)	0,045	10,9
"	"	То же	1,3-3,7 (супесь)	0,045	12,4
"	"	Боковая зона	0-3,5 (песок пылеватый)	0,083	13,3
ТЭЦ-1 г. Ярославля, II площадка (торф)	3-5 лет	То же	0-2,1 (песок пылеватый)	0,066	11,5
То же	"	"	2,1-3,6 (песок мелкозернистый)	0,19	7,5
ТЭЦ-1 г. Ярославля, III площадка (торф)	Текущего намыва	"	0-0,5 (суглинки и супеси)	0,025	10,0
То же	"	"	0-0,6 (суглинки и супеси)	-	-
ГРЭС г. Апатиты, I площадка (каменный уголь)	Текущего намыва	Промежуточная зона	0-0,8 (супесь)	0,032	7,6
То же	То же	То же	0-0,9 (супесь)	-	-
"	"	"	0-1,0 (супесь)	0,032	6,8
ГРЭС г. Апатиты, II площадка (каменный уголь)	"	Боковая зона	0,0-1,0 (песок разнозернистый с дресвой)	-	-
Приднепровская ГРЭС (антрацит)	<3 лет	"	0,0-2,5 (песок разнозернистый с дресвой)	0,19	21,5

состава	W, % вст.			$\delta, \text{г/см}^3$			e			
	$\frac{P=d_{50}}{d_{90}} \frac{d_{90}}{d_{10}}$	\bar{x}	σ	V, %	\bar{x}	σ	V, %	\bar{x}	σ	V, %
	0,36	96,0	5,31	5,52	0,8	0,04	5,0	2,21	0,14	6,40
	0,71	28,6	8,0	27,97	1,44	0,57	39,58	1,18	0,316	26,8
	0,14	89,0	8,49	9,6	0,82	0,084	10,24	2,24	0,373	16,7
	0,49	52,5	8,91	17,0	1,02	0,053	5,19	1,59	0,47	29,6
	0,56	45,8	21,2	46,3	1,08	0,167	15,46	1,60	0,46	28,8
	1,1	26,0	-	-	1,49	-	-	1,09	-	-
	0,82	31,5	7,56	24,0	1,22	0,131	10,73	1,29	0,214	16,6
	1,4	15,0	5,67	37,8	1,26	0,12	9,52	1,24	0,21	17,0
	0,25	39,6	11,7	29,6	1,29	0,123	9,6	0,805	0,177	21,9
	-	39,5	11,7	29,6	1,27	0,12	9,0	0,782	0,17	21,7
	0,24	59,85	13,95	23,3	0,925	0,083	8,96	1,47	0,204	13,22
	-	61,69	2,01	3,25	0,92	0,068	7,4	1,51	0,169	11,21
	0,22	58,28	5,4	9,26	0,91	0,027	2,94	1,50	0,071	4,76
	-	20,7	1,25	6,0	0,96	0,127	14,1	1,53	0,275	17,98
	33	19,8	7,19	36,34	1,07	0,122	11,4	1,31	0,258	19,69

Старые золоотвалы с давностью намыва $> 3-5$ лет обладают достаточно хорошими показателями механических свойств: $E = 8-20$ МПа; $\varphi = 23-24^\circ$ и $C=0,01-0,025$ МПа (для супесчано-суглинистых разностей); $\varphi = 27-32^\circ$, $C=0,05-0,0118$ МПа (для песчаных разностей). У золоотвалов текущего намыва с давностью < 3 лет низкие значения модуля деформации (1,5-6,0 МПа), а прочностные свойства различны и зависят от состава: φ — от 10 до 32° , C — от 0,0025 до 0,0194 МПа (низкие значения у супесчано-суглинистых разностей). Упрочнение зол во времени наглядно сказывается на прочностных показателях при водонасыщении. Для зол старых отвалов значения параметров сдвига при этом меняются мало, а у зол текущего намыва φ при водонасыщении резко убывает, особенно у суглинистых разностей — с 10° до 4° . Упрочнение зол во времени фиксируется и скоростью размокания. Если золы текущего намыва размокают в течение 1 минуты и быстрее, то золы старых золоотвалов полностью сохранили свою форму и не показали никаких признаков размокания в течение суток и более.

Все это свидетельствует о влиянии структурных связей у зол, при этом процесс упрочнения зол отмечается уже спустя 3 года после намыва, как и для намывных песков.

Объемная масса скелета и другие физические свойства зол зависят от грансостава, но от давности намыва не изменяются (табл. 2). Для золоотвалов торфа получены следующие тарировочные зависимости: $E_{шт.} = 6,15P_d - 7,7$ при $r = 0,99$; $E_{шт.} = 6,7P_{с.к.} + 1,5$ при $r = 0,93$; $E_{шт.} = 3,4E_{компр.} - 80,1$ при $r = 0,91$; $\varphi = 0,33P_d + 15,1$ при $r = 0,86$; $\varphi = 0,68P_{с.к.} + 12$ при $r = 0,88$.

Установленные зависимости рекомендуется использовать для ориентировочной оценки основных расчетных характеристик золоотвалов торфа.

Исследование металлургических шлаков в отвалах показало, что их состав и физико-механические свойства очень разнородны и зависят от химико-минералогического состава и структурно-текстурных особенностей (у доменных, устойчивых к распаду) и от гранулометрического состава (у мартеновских и распавшихся доменных шлаков), а также от времени лежания в отвалах.

Процессы силикатного распада в отвалах протекают в течение года. Другие виды распада (известковый и магнезиальный), а также явление набухания довольно длительные и могут протекать в течение 10 лет и более. Поэтому при исследовании металлургических шлаков, кроме определения физико-механических показателей, необходимым условием является изучение их химического и минералогического состава, а также видов распада и способности к набуханию.

Исследованные нами старые доменные шлаки Череповецкого металлургического завода морозостойки, не склонны к набуханию и ко всем видам распада. *Исключение составляют некоторые разности, склонные к сульфидному распаду и обладающие величиной набухания 3,88%. Наиболее высокие значения объемной массы γ (2,66-2,95 г/см³) и сопротивления одноосному сжатию R (67,8-205,8 МПа) наблюдаются у плотных разновидностей шлаков, наименьшие значения у пористых разностей: $\gamma - 1,53-1,94$ г/см³, $R = 9,8-33,2$ МПа. У плотно-пористых и брекчиевид-

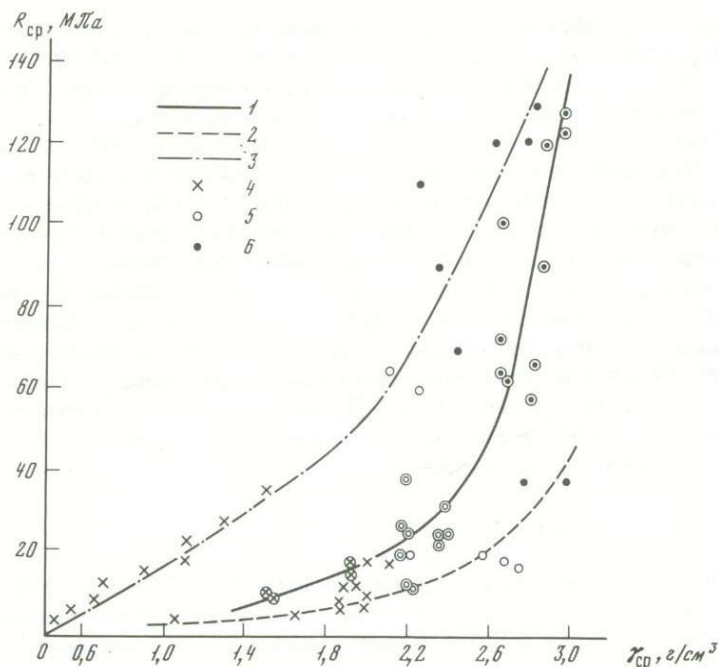


Рис. 2. Зависимость сопротивления одноосному сжатию (R) от объемного веса (γ) для доменных шлаков

1 — Череповецкие шлаки; 2 — шлаки Приднепровских заводов; 3 — шлаки Донбасса и Урала; 4 — шлаки пористой текстур; 5 — массивно-пористой; 6 — массивной

ных разностей γ равно 2,04–2,54 г/см³, R — 12,1–61,4 МПа. Коэффициент водонасыщенности у плотных разностей равен 0,88–1,0, у пористых и плотно-пористых — 0,61–0,95. Коррозионная активность у шлаков низкая ($\rho = 1380$ –3000 ом/м). Испытания статическими нагрузками штампами дали очень высокие показания: $E_{шт.}$ превышает 100 МПа, достигая 1000 МПа.

Шлаки, склонные к распаду (южных заводов страны), по данным изысканий Харьковского института "Гипросталь", имеют более низкие модули деформации: 34–89 МПа (γ у старых шлаков) и 12–16 МПа (γ у свежееотсыпанных). При этом после года лежания в отвалах модуль деформации у свежееотсыпанных шлаков возрос до 26–52 МПа.

При исследовании доменных шлаков оценка их сопротивления сжатию R может быть выполнена по объемному весу γ в соответствии с графиком на рис. 2.

Отвалы мартеновских неспарированных шлаков Череповецкого металлургического завода представлены крупнообломочными грунтами (щебенистыми и дресвяными) с песчаным заполнителем до 30%. Шлаки слежавшиеся, плотные, сцементированные, неоднородны по инженерно-геологическим свойствам, особенно по объемной массе и модулю дефор-

магии, что связано с различным количеством включений крупных обломков железа, чугуна и шлака: γ — от 2,18 до 2,67 г/см³, $E_{шт.}$ — от 36 до 220 МПа. При водонасыщении модули деформации уменьшаются. Прочностные характеристики шлаков близки к характеристикам для крупнообломочных грунтов естественного образования: φ — 49°, C — 0,007 МПа. Обломочный материал морозостойкий. Шлаки обладают способностью к железистому и марганцевому распадам, а также к набуханию. Свежеотсыпанные несепарированные шлаки завода "Азовсталь", как показали исследования Харьковского ин-та "Гипросталь", имеют невысокие модули деформации (не > 10–16 МПа) и меньшую объемную массу (1,49–1,76 г/см³). Примерно в таких же пределах варьируют значения объемной массы и модуля деформации у свежеотсыпанных сепарированных мартезовских шлаков (Донецкий металлургический завод), а параметры сдвига у них равны: φ = 16–23°, C = 0,0175–0,048 МПа. При укатке пневматическими катками все показатели строительных свойств свежеотсыпанных шлаков значительно улучшаются.

АБСТРАКТ

Ashes and metallurgical slags of the Heating-and-Power Plant are characterized by heterogeneous structure or chemico= mineral composition and by the following specific features: disintegration and swelling of slags, hydraulic capacity of ashes and slags, microlamination and microporosity of ashes — all that results in changes of physical-and-mechanical properties in time and space.

Engineering—geological classification of ashes and slags considered in the report permits to choose an optimal complex of examination methods depending on the way and antiquity of formation of dumps, etc.

УДК 624.131/132

Л.Б. РОЗОВСКИЙ

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ МОРСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕСКОВ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

В связи с ежегодным приростом потребности в строительных песках на 4–7%, ограниченностью запасов материковых (на суше) месторождений во многих районах мира растет добыча морских песков. Уже теперь в США и Великобритании в общей добыче песков морские составляют 10% [2]. В СССР на морских месторождениях добываются ежегодно многие десятки миллионов тонн песков. В некоторых приморских областях (например, Одесской) морскими песками обеспечивается 92–95% потребности в этом виде стройматериалов.

Возможность применения на подводных разработках песков земснарядов с очень высокой производительностью (тысячи кубометров в час),

использование для перевозок экономичного водного транспорта, отсутствие затрат на рекультивацию земель, перспективы на попутную сепарацию редких металлов и наличие крупных месторождений с запасами, оцениваемыми в сотни миллионов — первые миллиарды тонн обеспечивают высокую рентабельность добычи.

Все это привлекает внимание строителей и геологов к рождающейся новой отрасли индустрии стройматериалов. В настоящее время морские пески занимают первое место по весу и стоимости продукции среди всех видов твердых ископаемых, извлекаемых со дна моря (второе после нефти и газа). Можно достоверно прогнозировать, что к 2000 г. в связи с истощением запасов инертных материалов на суше во многих регионах мира экономику строительства будет определять централизованная добыча песков на крупных морских месторождениях.

В использовании морских песков имеются свои технологические и исследовательские трудности. К первым относится преобладание среди морских песков тонко- и мелкозернистых разновидностей. В связи с этим непрерывно ведутся работы по улучшению технологии производства бетона с использованием мелкозернистых песков. Исследовательские трудности обусловлены тем, что разработка любого подводного карьера представляет собой вмешательство в сложившуюся природную обстановку — литодинамическую и экологическую. Важно предвидеть последствия этого вмешательства и определить — возмещают ли с избытком выгоды от эксплуатации карьера нанесенный ущерб среде.

В связи с этим поиски и разведка морских месторождений песков являются комплексной поисково-разведочной и инженерно-геологической задачей. Больше того, судьбу многих месторождений морских песков решают не геолого-экономические условия (количество запасов, расстояния от береговых площадок и др.), а влияние разработок на устойчивость пляжей и надводных склонов, т.е. инженерно-геологические проблемы. В настоящее время на Черном море уже накоплен некоторый опыт исследований и наблюдений в процессе подводных разработок песков (1969—1978 гг.).

В аспекте влияния разработки на геологическую среду все месторождения морских песков можно разделить на две большие группы [3].

Месторождения современной береговой зоны, сформированные в условиях литодинамической связи с приурезовой полосой. Это подводные продолжения аккумулятивных береговых форм морского происхождения (кос, пересыпей, баров и др.), те же реликтовые формы, сформированные при более низком уровне в последних ритмах голоценовой трансгрессии (морские банки, затопленные косы и острова), конусы выноса и подводные продолжения дельт на глубинах до 10—15 м.

Месторождения в верхней и средней частях шельфа, не имеющие литодинамической связи с приурезовой полосой. Это затопленные речные террасы долин прарек, опущенные морские террасы, дельты и конусы выноса рек, аккумулятивные тела различного происхождения на глубинах более 10—15 м. Обязательным признаком является то, что по условиям рельефа дна, наличию "непропусков" наносов, глубинам и расстояни-

ям от берега эти месторождения находятся в обстановке, исключающей литодинамическую связь с берегом.

Очевидно, что эксплуатация месторождений первой группы связана с опасностью стягивания песков с пляжей, активизацией абразии, оползней, обвалов и др. Исследования этих месторождений требуют особенно тщательных комплексных инженерно-геологических исследований. Для месторождений второй группы вопрос о степени влияния на геологическую среду возникает лишь тогда, когда разрабатываемая аккумулятивная форма блокирует берег и ее ликвидация может существенно изменить обстановку в относительно большом районе.

Прогноз опасности разрушения пляжей и нарушения устойчивости подводных склонов при эксплуатации месторождений первой группы представляет собой многошаговую процедуру, в которой применяется следующий комплекс методов исследований и частных прогнозов:

- анализ критериев литодинамической связи (КЛС) "карьер-берег", т.е. рассмотрение группы прямых и косвенных геолого-геоморфологических, гидродинамических и других признаков, свидетельствующих о возможности или, напротив, малой вероятности такой связи;

- исследование миграций наносов в береговой зоне (полевые работы и расчеты);

- лабораторное моделирование взаимодействия систем "карьер—берег" в волновых лотках и бассейнах;

- прогноз устойчивости надводных склонов при разных объемах стягивания наносов и подсечки склона (лабораторное моделирование и расчеты);

- проверка прогноза в случае принятия решения о разработке месторождения — комплекс геолого-гидрографических и геодезических наблюдений на берегу и на дне моря.

Приведем краткие пояснения к каждому "шагу" приведенной схемы прогноза.

К основным критериям литодинамической связи (КЛС) относятся следующие: глубины, на которых размещается карьер, наличие мест "непропусков" наносов между карьером и берегом, положение карьера по отношению к основным направлениям (трассам) вдоль береговых потоков наносов, наличие или отсутствие общих тенденций к обмену наносами между различными подзонами в береговой зоне.

Карьер не будет иметь литодинамической связи с берегом, если он находится на глубинах, где волновые придонные скорости близки к нулю. Эта глубина является одновременно морской границей береговой зоны, она совпадает с глубиной равной $H = 0,5 \lambda$ (λ — длина волны). Для Черного моря $\lambda = 60$ м и $H = 30$ м. Однако многие авторы (В.П. Зенкович, В.В. Лонгинов, Ф. Шепард, К. Кинг и др.) или снижают эту величину, или определяют ее по другим признакам. Многочисленные эксперименты в волновом лотке Проблемной лаборатории инженерной геологии Одесского университета показали, что опасным является расположение карьера на глубинах менее $0,2-0,3 \lambda$ и при волновых придонных скоростях, превышающих более чем в 1,5 раза размывающую скорость для донного грунта. Для северо-западного района Черного моря это глубины менее 12 м [1].

Отрицательным КЛС является наличие мест "непропусков" наносов — обширных площадей "голового" бенча, "желобов" — затопленных русел долин прарек, крупных депрессий и поднятий в рельефе морского дна. Палеогеографические реконструкции истории рельефа шельфа в ходе голоценовой трансгрессии позволяют выявить общие тенденции в миграции наносов. Наиболее устойчивые тенденции подводные разработки песков, как правило, преодолеть не могут (например, отсутствие обмена наносами между зонами).

Следует отметить, что ни один из КЛС не дает однозначного ответа. Общий качественный прогноз об отсутствии или возможности литодинамической связи должен основываться на сравнении и обобщении ряда КЛС. Если ответ получается положительным — стягивание пляжевых наносов возможно, то этот вывод должен быть подтвержден литодинамическими исследованиями, в том числе определением емкости и мощности (производительности) вдольбереговых потоков наносов.

Методика литодинамических исследований весьма разнообразна и включает: полевые геоморфологические и литологические исследования, натурные и лабораторные эксперименты, математическое моделирование процесса. Методика исследований освещается в обширной литературе по динамике морских берегов, в том числе в специальных руководствах.

Некоторую качественную характеристику прогнозируемой обстановки взаимодействия карьера и берегов дает моделирование в волновом лотке (бассейне) при использовании в опыте тех же грунтов и сохранении геометрического подобия и подобия придонных скоростей. В общем же методика интерпретации результатов опытов в лотке разработана еще слабо.

Окончательное решение о невозможности использования месторождения морских песков в связи с опасностью стягивания наносов с пляжей принимается после выполнения расчетов устойчивости надводных склонов в разных вариантах. Одним из вариантов может быть эксплуатация карьеров с производительностью, равной 0,25—0,5 средней производительности вдоль берегового потока наносов. В этом случае можно рассчитывать на возобновление отработанных запасов и сохранение пляжей.

Как известно, прогноз сложного многофакторного явления имеет всегда вероятностный характер и требует проверки в ходе исполнения принятого по прогнозу решения. Видимо, основной задачей эксплуатационной геологической службы на подводных карьерах должен быть не только учет отработываемых запасов, но и проверка прогнозов по влиянию добычи на берега.

В качестве примера организации таких наблюдений на действующих карьерах можно привести результаты трехлетних наблюдений на крупном карьере вблизи г. Одессы. Здесь велись стационарные наблюдения на трех береговых участках протяженностью 600 м каждый, промеры и съемка дна гидрографами, обследование карьера аквалангистами. Сопоставлялись аэрофотоснимки разных лет. Анализ материалов наблюдений показал, что эксплуатация карьера, расположенного всего в 4 км от берега, но на глубинах более 12 м, в котором в течение ряда лет было добыто 9—10 млн. м³ песков, не вызвала разрушения пляжей и надводных склонов. В то же вре-

мя добыча морских песков в смежном районе и аналогичных условиях, но на более близких расстояниях от берега и меньших глубинах привела к значительной активизации оползней.

Перспективная, быстро растущая отрасль добычи морских песков выдвигает ряд научно-методических и технических задач, требующих срочного разрешения.

АБСТРАКТ

In connection with an annual 4—7 per cent rise in requirements for the building sands, in many countries sea sand extraction increases. Towards the end of the century, due to the exhaustion of reserves of inert materials on land, in many areas of the world the large-scale extraction of sea sand will determine the building economy.

The effects of sand extraction on the stability of beaches and above-water slopes, i.e. engineering-geological problems govern the destiny of many sea sand extraction areas. As to the influence of sea sand extraction on the geological environment, all the sea extraction areas may be divided into two large groups: group A — extraction areas of the present-day coastal zone, formed under conditions of the lithodynamic relation with the near-water-edge belt; group B — extraction areas in the upper and middle parts of the shelf having no lithodynamic relation with the near-water-edge belt.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Германов Ю.А.* Исследование влияния морских подводных карьеров на берега: Автореф. канд. дис. Одесса, 1975.
2. *Клод Риффо.* Будущее — океан. Л.: Гидрометеиздат, 1978.
3. *Розовский Л.Б.* Поиски и разведка месторождений морских строительных песков. — Разведка и охрана недр, 1974, № 3.

УДК 624.131.32

И.А. ТУРЧАНИНОВ, В.И. ПАНИН

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРИРОДНОГО ОБЛИЦОВОЧНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ

В последние годы наблюдается тенденция устойчивого увеличения потребности в облицовочном и строительном камне, особенно в связи с возрастающим объемом строительства уникальных нестандартных зданий и сооружений, метрополитенов, памятников и т.д. В связи с этим быстро расширяется добыча материалов для такого строительства. Подчас необходимый камень добывают только из специальных карьеров стройматериалов, но используют также вмещающие породы карьеров, поставляющих сырье для черной и цветной металлургии [5].

Природный камень, используемый для облицовочных и декоративных работ, должен обладать соответствующими механическими свойствами, из которых основными являются такие инженерно-геологические характеристики, как высокая механическая прочность, монолитность, крупноблочность, устойчивость к различным атмосферным воздействиям [1].

Однако опыт показывает, что при добыче на естественную трещиноватость пород накладывается так называемая техногенная, особенно при ведении добычи с использованием буровзрывных работ. Техногенная трещиноватость визуально, как правило, не диагностируется, но влияние ее при последующей обработке камня проявляется резко и однозначно: уменьшается выход готовых изделий, возрастают отходы, снижается сортность продукции. Не всегда представляется также возможным априорно оценить влияние естественной трещиноватости, поскольку степень ее воздействия на прочность пород зависит от типа и характера вторичных изменений материала, заполняющего эти трещины.

Все это делает актуальной задачу предварительного инженерно-геологического изучения месторождений, а также разработки оперативных неразрушающих способов контроля качества природного камня, результаты которого могли бы быть использованы при его последующей обработке. Таким условиям в значительной мере отвечают сейсмоакустические, в том числе ультразвуковые, методы. К настоящему времени накоплены данные, свидетельствующие о перспективности сейсмических методов оценки трещиноватости и блочности горных пород в массиве [6, 4, 2]. Вместе с тем известны результаты [3], свидетельствующие о том, что трещины различных типов оказывают неодинаковое влияние на скорость распространения продольных волн в горных породах, которая является основным рабочим параметром во всех известных методиках контроля трещиноватости. Существенное влияние на зависимость скорости продольных волн от трещиноватости оказывают внешние условия, особенно такие, как напряженное состояние пород и их влажность. Поэтому методические положения, разработанные для одних типов пород и соответствующих условий, нельзя механически переносить на другие условия и породы без предварительных контрольных или поисковых исследований.

Такие исследования проведены нами на габбро-диабазам и гранитам некоторых месторождений Кольского полуострова и Карелии. Изучалось влияние трещиноватости различного генезиса на прочностные и упругие свойства пород с целью определения наиболее информативных параметров ультразвукового контроля трещиноватости крупногабаритных блоков облицовочного камня (табл. 1).

В табл. 1 приведены результаты изучения влияния трещин некоторых типов на прочностные и акустические свойства габбро. Из данных табл. 1 следует, что трещины различного генетического типа по-разному влияют на прочность и акустические свойства пород. Тектонические трещины, заполненные неизменными минералами (образцы 1 и 2), не оказывают заметного влияния на прочность и акустические свойства породы в целом. Изменение прочности при растяжении и параметров продольных волн в этом случае не выходит за пределы точности измерений и естест-

Таблица 1

Влияние трещин на прочностные и акустические свойства габбро

№ образцов	Краткая характеристика трещин	Прочность при растяжении, $\delta \cdot 10^5$ МПа		
		по монолитной породе, σ_1	по трещине, σ_2	$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_2}, \%$
1	Тектоническая трещина, толщина (раскрытие) 7–10 мм, заполнители — клиноцоизит, хлорит, кварц, карбонат	200	220	–1
2	Тектоническая трещина, толщина 5–8 мм, заполнена крупнозернистым агрегатом из эпидота, клиноцоизита, карбоната, кварца, биотита	135	120	12
3	Трещина с признаками рассланцевания, толщина 2–3 мм, заполнение — хлорит, эпидот, альбит, карбонат	230	150	53
4	То же	230	140	64
5	Тектоническая трещина толщиной 0,2–0,3 мм, заполнена хлоритом рассланцевания	190	70	170
6	Техногенная трещина	220	0	–
	"	200	0	–

венной вариации этих показателей. Тектонические трещины, заполненные минералами с признаками вторичных изменений, существенно уменьшают прочность при растяжении, снижают скорость продольных волн и увеличивают их затухание.

По техногенным трещинам прочность при растяжении практически равна нулю, уменьшение скорости достигает 30%, рост затухания — до 2,5 раз.

Таким образом, степень влияния трещины на физические свойства какого-либо объема породы в целом определяется не только самим присутствием их в этом объеме, но и типом трещины и, главным образом, типом их заполнителя, характеризующим контактные условия на трещине. При этом, помимо физических свойств заполняющего трещину материала, большое влияние на акустические свойства оказывает влажность.

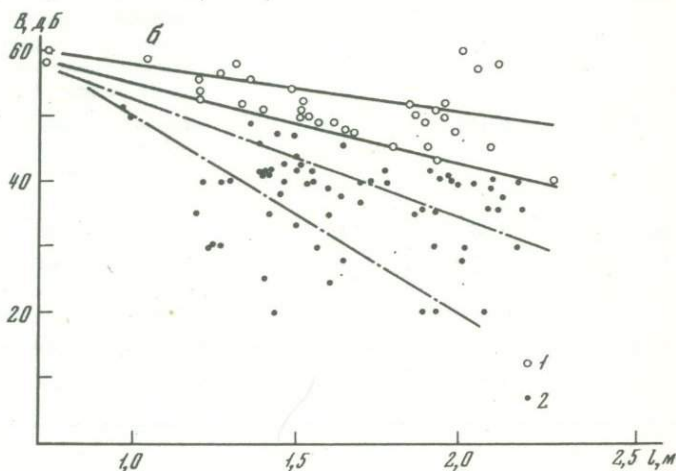
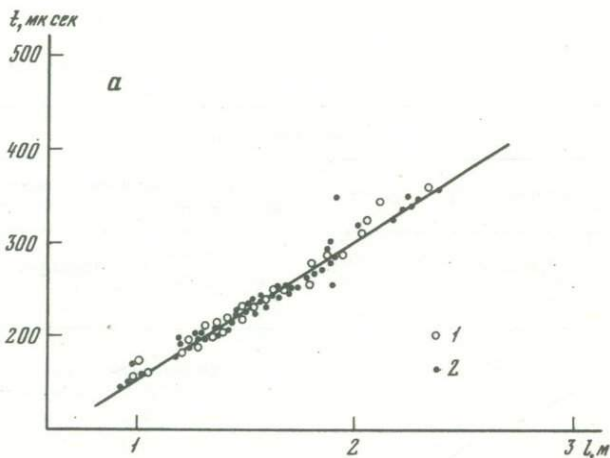
Влияние влажности на акустические свойства трещиноватых пород достаточно хорошо иллюстрируется данными наших экспериментов [3], представленных в табл. 2. Из этих данных видно, что если в монолитном образце влияние влажности на скорость продольных волн несущест-

Акустические свойства					
скорость продольных волн, V_p , км/с			величина ослабления энергии продольных волн, В, дБ		
по монолитной породе, V_{p1}	⊥ трещине, V_{p2}	$\frac{V_{p1} - V_{p2}}{V_{p2}}, \%$	по монолитной породе, B_1	⊥ трещине, B_2	$\frac{B_1 - B_2}{B_2}, \%$
5,96	5,81	2	74	71	1
5,80	5,70	2	64	59	8
6,19	5,94	4	77	68	13
6,15	5,38	14	77	62	24
6,16	5,98	3	68	54	26
6,59	5,77	14	54	23	90
6,50	4,87	33	50	20	250

Таблица 2

Влияние влажности на скорость продольных волн в трещиноватых породах

Значение скорости продольных волн, V_p , км/с					
до увлажнения			после увлажнения		
скорость в монолитном образце, V_{p1}	скорость ⊥ трещине, V_{p2}	$\frac{V_{p1} - V_{p2}}{V_{p2}}$	скорость в монолитном образце, V_{p1}	скорость ⊥ трещине, V_{p2}	$\frac{V_{p1} - V_{p2}}{V_{p2}}$
5,50	3,07	0,79	5,50	5,00	0,20
5,25	1,72	2,05	5,40	2,80	0,93
5,30	2,74	0,93	5,70	4,60	0,24
5,40	3,20	0,69	5,50	4,90	0,12



Р и с. 1. Результаты определения (а) и измерения затухания (б) продольных волн в образцах габбро

1 — монолитные образцы; 2 — трещиноватые

венно, то при прохождении этой волны через увлажненную трещину (в данном случае частично или полностью заполненную цеолитом) скорость ее увеличивается в 1,5–2 раза. Очевидно, вода, играя в данном случае роль смазки, улучшает контактные условия на трещине и обуславливает таким образом более высокие скорости упругих волн. Этот факт очень важен при сейсмоакустическом контроле трещиноватости горных пород, поскольку большинство месторождений полезных ископаемых, в том числе и месторождений облицовочного и строительного камня, в той или иной степени обводнены. Блоки горных пород, поступающие на камнеобрабатывающие предприятия, иногда обладают такой влажностью, которая может полностью устранить влияние трещин на скорость продоль-

ных волн в этих блоках. Это подтверждается экспериментальными данными, полученными непосредственно в распиловочном цехе камнеобрабатывающего завода.

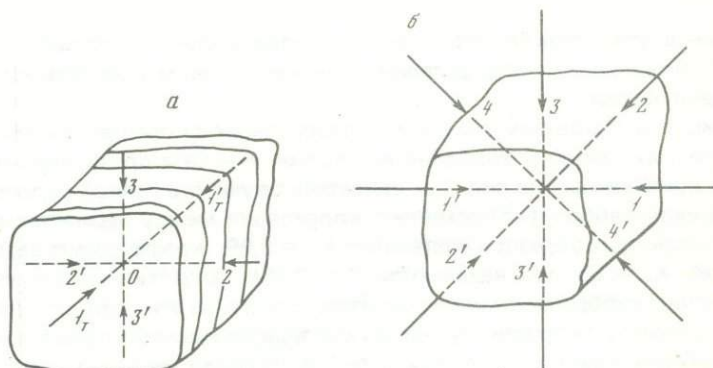
На рис. 1, а приведены результаты определения скоростей продольных волн в блоках габбро в координатах "время t — база прозвучивания l ". Данные, приведенные на рис. 1, а, свидетельствуют о высокой скоростной однородности габбро (коэффициент корреляции между параметрами t и l для монолитных образцов составляет $K_k = 0,99$, коэффициент вариации скоростей $K_v = 5\%$ при надежности $P = 0,95$). Аналогичные результаты получены для габбро-диабазов и гранитов. Однако из этих данных следует, что по параметру скорости V_p нет четкой дифференциации трещиноватых и монолитных сростков. Коэффициент корреляции между параметрами t и l для трещиноватых образцов $K_k = 0,93$, т.е. близок таковому для образцов монолитных, и, как это видно на рис. 1, а, скорости продольных волн в монолитных и трещиноватых образцах практически равны. Исключение в данном случае представляют собой точки, соответствующие крупным открытым трещинам, заполненным сильно рассланцованными вторичными минералами.

На рис. 1, б приведены результаты измерения затухания продольных волн на тех же образцах габбро, представленные в координатах "ослабление B — база измерения l ". Эти результаты характеризуют довольно высокую стабильность показателя затухания продольных волн в рассматриваемых породах (коэффициент корреляции между параметрами B и l для монолитных образцов $K_k = 0,80$, коэффициент вариации коэффициента затухания $K_b = 15\%$ при надежности $P = 0,95$). На рис. 1, б наблюдается также более четкая дифференциация результатов, полученных при измерениях в трещиноватых и монолитных образцах, чем на рис. 1, а что подтверждает значительно большую информативность показателя затухания продольных волн по сравнению с показателем скорости. Это же подтверждается и данными табл. 1. Однако, поскольку измерение скорости V_p значительно проще, чем измерение величины затухания, и притом параметр скорости довольно заметно реагирует на некоторые типы трещин, этот параметр можно использовать для контроля трещиноватости. Окончательную оценку исследуемого блока необходимо давать по величине затухания продольной волны.

Контроль трещиноватости целесообразно проводить как непосредственно в массиве и в карьере перед отправкой блоков на камнеобрабатывающий завод, так и на заводе для определения оптимального направления распиловки блоков.

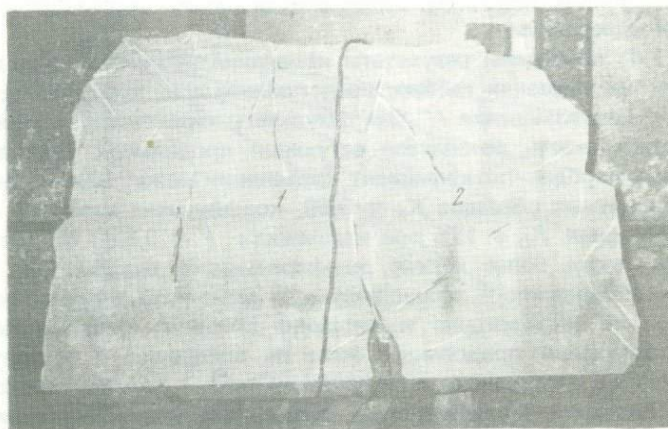
Трещиноватость пород в массиве может оцениваться, как показывает соответствующий опыт [2], по кинематическим параметрам упругих волн методами обычной сейсморазведки. Получаемые результаты в этом случае будут тем надежнее, чем меньше влажность и сжимающие напряжения в изучаемом участке массива.

Ультразвуковой контроль трещиноватости блоков заключается в прозвучивании их в трех взаимно ортогональных направлениях, одно из которых должно быть перпендикулярным к плоскостям видимых трещин (рис. 2, а), по которым предположительно может произойти разру-



Р и с. 2. Схема контрольного прозвучивания блоков

a — при наличии видимых плоскостей ослабления; *b* — при отсутствии их



Р и с. 3. Облицовочная плита после распиловки блока

1, 2... — техногенные трещины

шение блока в процессе его дальнейшей обработки. Если блок визуально представляется однородным, прозвучивание проводят по круговой схеме (рис. 2, б). После определения преимущественного направления трещин или других плоскостей ослабления блок помещают в распиловочный станок таким образом, чтобы плоскости распиловки были параллельны предполагаемым плоскостям ослабления или трещин.

Постоянное сопоставление результатов прогнозной оценки степени трещиноватости образца с фактическим его состоянием, определяемым после распиловки (рис. 3), позволит, с одной стороны, уточнить тарировочные графики, а с другой — будет содействовать накоплению у операторов опыта, который даст им возможность в дальнейшем оценивать качество блока даже без помощи специальных тарировочных графиков.

Ультразвуковой контроль трещиноватости блоков непосредственно в карьере, особенно при применении взрывных работ в технологическом процессе добычи камня, позволяет существенно сократить расходы на транспортировку от места добычи до завода заведомо непригодных блоков. Ультразвуковые определения параметров трещиноватости непосредственно в распиловочном цехе в случае невозможности визуальной оценки существенно увеличивают выход продукции высоких сортов. Этим достигается значимый экономический эффект.

АБСТРАКТ

On account of increasing volume of erection of non-standard buildings and constructions the production of not only special building material quarries, but also the stripping rocks of quarries, mining non-ferrous and ferrous metals is used as facing and building natural stones.

All these facts make actual the development of operational nondestructible methods of natural stone quality control, the results of which could be used in the following processing. For this purpose the authors have carried out researches on development and application of seismoacoustic and, in particular, ultrasonic methods of control.

The results of these works indicated the degree of joining influence on firmness and elastic properties of rocks is to be determined by filter properties, humidity and mechanical stress field in the part of the massif under investigation. On the basis of the conducted investigations the value of longitudinal wave velocity has been determined to serve as a parameter for rock jointing control only in exposures and in quarries.

Test using of ultrasonic control of natural stone block quality in industrial quarry of the Mining and Processing Combine and at the Stone Processing Plant showed, that the application of such a control allows to reduce essentially the expenses on transportation of apparently unfit blocks, makes it possible to choose correctly the optimal direction of rock block sawing and to increase the output of finished production with better quality.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беликов Б.П., Петров В.П.* Облицовочный камень и его оценка. М.: Наука, 1976.
2. *Ляховицкий Ф.Н., Семенов Е.П., Волосов С.Г., Страхова Н.А.* Оценка блочности и трещиноватости строительного камня в естественном залегании комплексом геофизических методов. — В кн.: Физика горных пород и процессов. М.: Недра, 1971.
3. *Панин В.И., Турчанинов И.А.* Влияние напряженного состояния и трещиноватости массива на скорость распространения упругих волн. — Физ.-техн. проблемы разработки полезных ископаемых, 1970, № 2.
4. *Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Яценко З.Г.* Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных горных пород. М.: Наука, 1969.
5. *Сычев Ю.И., Туркин А.Ф., Алексеев Г.В.* Использование отходов горной промышленности для производства облицовочных изделий и архитектурно-строительных деталей из природного камня в Мурманской области. — В кн.: Строительные и технические материалы из нерудного минерального сырья. Л.: Наука, 1976.
6. *Турчанинов И.А., Панин В.И.* Геофизические методы определения и контроля напряжений в массиве. Л.: Наука, 1976.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
ГИДРОГЕОЛОГИЯ	
<i>Г.В. Куликов, В.С. Ковалевский, Н.М. Фролов, В.И. Ферронский, В.М. Швец, Н.А. Плотников, И.К. Гавич.</i> Современные проблемы гидрогеологии	5
<i>Г.М. Рогов.</i> Основные типы гидрогеологических структур земной коры и закономерности их обводнения	16
<i>Н.И. Плотников.</i> К вопросу о формировании ресурсов пресных подземных вод в различных природных условиях	19
<i>Б.В. Боревский, М.В. Кочетков, В.М. Шестопалов, Л.С. Язвин.</i> Связь условий формирования ресурсов подземных вод с геолого-структурными факторами	22
<i>В.С. Зильберг, М.С. Красс, И.Я. Пантелеев.</i> Система управления региональными эксплуатационными ресурсами подземных вод	26
<i>Т.Б. Гребенщикова, Г.Н. Кашковский, В.М. Фомин.</i> Комплексный анализ гидрогеологических условий артезианских бассейнов в целях региональной оценки ресурсов подземных вод	30
<i>С.М. Семенова-Ерофеева, З.А. Водоватова, А.Н. Клюквин.</i> Литолого-генетический и геоструктурный анализы терригенных толщ при обосновании гидрогеологических моделей	34
<i>В.А. Всеволожский, М.А. Всеволожская.</i> Геологическая модель артезианского бассейна платформенного типа	38
<i>В.А. Мироненко, В.А. Кирюхин, А.И. Коротков.</i> Управление ресурсами и качеством подземных вод в горнодобывающих районах	44
<i>В.А. Барон.</i> Прогноз режима грунтовых вод с учетом изменения водоотдачи пород во времени	49
<i>Д.М. Кац.</i> Гидрогеологическая классификация орошаемых районов аридной зоны на основе количественных показателей	54
<i>В.Н. Островский.</i> Зональность подземных вод в гумидных и аридных условиях и теория литогенеза	58
<i>С.Ш. Мирзеев.</i> Методика и результаты изучения запасов подземных вод и их роль в общем водном балансе аридных районов	62
<i>А.Е. Бабинец, В.М. Шестопалов, Д.Р. Литвак.</i> Водообмен в артезианских бассейнах платформенного типа Украины в естественных и нарушенных эксплуатацией условиях	66
<i>Г.В. Воронев, И.С. Зекцер, Б.Е. Антыпко.</i> Вопросы гидрогеологического обоснования проблемы территориального перераспределения речного стока	70
<i>В.М. Гольдберг, Н.П. Скворцов.</i> Влияние температуры и минерализации подземных вод на проницаемость глинистых водоупоров	73
<i>Б.Ф. Маврицкий, А.А. Шлак.</i> Классификация, принципы изучения и оценки ресурсов глубинного тепла Земли	78
<i>В.И. Лялько, М.М. Митник, Л.Д. Вульфсон.</i> Дистанционное гидрогеотермическое зондирование и поиски полезных ископаемых	83

А.А. Рошаль, В.Б. Чулаевский. Обоснование расчетных схем при определении скорости фильтрации по данным нестационарного температурного режима	88
Г.В. Богомолов, Ю.Г. Богомолов. Природа минерализованных вод в кристаллических породах фундамента	92
И.Ф. Вовк. Естественный радиолиз системы "вода—горная порода" и его вклад в геохимию подземных вод и водовмещающих пород	96
А.В. Щербаков, В.П. Зверев. Гидрогеохимические среды подземных водных растворов и закономерности их взаимодействия с минеральным веществом горных пород	100
С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, И.В. Василькова. Прогнозирование химического состава подземных вод на основе машинного моделирования физико-химических взаимодействий в системе "вода-порода"	104
С.Л. Шеварцев. Геохимическая эволюция состава подземных вод в алюмосиликатных породах	109
Б.А. Колотов. Гидрогеохимические поля эндогенных месторождений	114

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Е.М. Сергеев. Инженерная геология и охрана окружающей среды	119
В.П. Солоненко. Уникальный инженерно-сейсмологический эксперимент в экономической зоне Байкало-Амурской железной дороги.	129
Ю.Б. Осипов, Д.Г. Зилинг. Инженерно-геологические проблемы в области охраны окружающей среды	143
М.В. Чуринов, И.М. Цыпина, В.П. Лазарева. Типизация инженерно-геологических условий как основа региональной инженерно-геологической оценки территории	148
И.Г. Коробанова. Инженерно-геологический анализ стадий постседиментационных изменений терригенных осадочных образований	153
Н.А. Платов. Природа прочности структурных связей несцементированных песчаных грунтов	162
И.С. Бочарова, Ю.Ф. Захаров. Структурно-неустойчивые грунты различного состава и методы оценки их инженерно-геологических свойств	167
Л.И. Кульчицкий. Анизотропия сдвиговой прочности и длительная прочность водонасыщенных глинистых грунтов	175
А.И. Шеко, В.С. Круподеров. Временное прогнозирование экзогенных геологических процессов	188
В.В. Кюнтцель, Г.П. Постов, Г.Р. Хоситашвили. Некоторые теоретические аспекты региональных прогнозов оползней	193
М.В. Рац, Н.Б. Иванова, Г.Л. Русин, Б.Г. Слепцов. Расчет инженерно-геологических характеристик скальных массивов по параметрам трещиноватости	199
С.Д. Воронкевич, Л.А. Евдокимова, Н.А. Ларионова, Е.Н. Огородникова. Геохимические и физико-химические аспекты структурообразования при укреплении дисперсных грунтов с использованием зол тепловых станций	204
Р.С. Зиангиров, Л.С. Воскресенская, Э.Р. Черняк. Основы методики инженерно-геологических исследований техногенных грунтов (на примере шлаков и зол)	213
Л.Б. Розовский . Инженерно-геологические проблемы добычи морских строительных песков и методы их решения	222
И.А. Турчанинов, В.И. Панин. Сейсмоакустический контроль качества природного облицовочного и строительного камня	226

CONTENTS

Preface	3
HYDROGEOLOGY	
<i>G.V. Kulikov, V.S. Kovalevsky, N.M. Frolov, V.I. Ferronsky, V.M. Shvets, N.A. Plotnikov, I.K. Gavich.</i> Present-day problems of hydrogeology	5
<i>G.M. Rogov.</i> Main types of hydrogeological structures of the earth-crust and regularities of their water encroachment	16
<i>N.I. Plotnikov.</i> On forming fresh ground-water resources in various natural conditions	19
<i>B.V. Borevsky, M.V. Kochetkov, V.M. Shestopalov, L.S. Yazvin.</i> The relationship between the conditions of the formation of ground-water resources and the geological-structural factors	22
<i>V.S. Zilberg, M.S. Krass, I. Ya. Panteleev.</i> System of control over regional operating resources of ground waters	26
<i>T.B. Grebenshichova, G.N. Kashkovsky, V.M. Fomin.</i> Complex analysis of hydrogeological conditions of artesian basins for the purpose of regional estimation of ground-water resources	30
<i>S.M. Semenova-Erofeeva, Z.A. Vodovatova, A.N. Klyukvin.</i> Lithologic-genetic and geo-structural analysis of terrigenous sections for hydrogeologic models substantiation	34
<i>V.A. Vsevoloshsky, M.A. Vsevoloshskaya.</i> The geological model of a platform-type artesian basin	38
<i>V.A. Mironenko, V.A. Kiryukhin, A.I. Korotkov.</i> Monitoring of ground-water resources and water quality in mining development regions	44
<i>V.A. Baron.</i> A prediction of the unconfined ground-water regime with allowance for the storage coefficient of rocks in time	49
<i>D.M. Kats.</i> Hydrogeological classification of arid zones irrigated districts on the quantitative indices base	54
<i>V.N. Ostrovsky.</i> The zonal distribution of ground water in humid and arid conditions and the theory of lithogenesis	58
<i>S. Sh. Mirzaev.</i> The methods and results of investigations of the ground water resources and their role in the water balance of the arid regions	62
<i>A.E. Babinets, V.M. Shestopalov, D.R. Litvak.</i> Water cycles in the Ukrainian artesian basin of the platform type under natural conditions and conditions changed by water utilisation	66
<i>G.V. Voropaev, I.S. Zektser, B.E. Antypko.</i> Hydrogeological substantiation of the interregional river water transfer problems	70
<i>V.M. Goldberg, N.P. Skvortsov.</i> Effect of ground-water mineralization and temperature on permeability of clay aquifer	73
<i>B.F. Mavritsky, A.A. Shpak.</i> Classification et principes d'étude et d'évaluation des ressources en chaleur profonde de la terre	78
<i>V.I. Lyalko, M.M. Mitnik, L.D. Wolfson.</i> Remote hydrogeothermic sensing and prospecting for deposits	83
<i>A.A. Roshal, V.B. Tchulaevsky.</i> The grounding of calculate schemes for the determination of flow velocity by data of non-stationary temperature regimes	88

<i>G.V. Bogomolov, Yu. G. Bogomolov.</i> The nature of mineralized ground-water in crystalline foundation rocks	92
<i>I.F. Vovk.</i> Natural radiolysis of water-rock system and its contribution to geochemistry of subsurface waters and reservoir rocks	96
<i>A.V. Tcherbakov, V.P. Zverev.</i> Milieu hydrochimique des solution d'eaux souterraines et la régularité de leur interaction avec la matière minérale des roches montagneuses	100
<i>S.R. Kraynov, B.N. Ryzhenko, I.V. Vasilkova.</i> Underground waters chemical composition forecasting due to computer modelling of water-rock interaction	104
<i>S.L. Shvartsev.</i> Geochemical evolution of ground-water composition in aluminosilicate rocks	109
<i>B.A. Kolotov.</i> Hydrogeochemical fields of endogenic deposits	114

ENGINEERING GEOLOGY AND BUILDING MATERIALS

<i>E.M. Sergeev.</i> Engineering geology and protection of natural environment	119
<i>V.P. Solonenko.</i> The unique engineering-seismogeological experiment in the economic zone of the Baikal-Amur railway	129
<i>Y.B. Osipov, D.G. Ziling.</i> General engineering-geological problems of maintenance of environment	143
<i>M.V. Churinov, I.M. Tsykina, V.P. Lazareva.</i> Typification of engineering-geological conditions as a basis of regional engineering-geological evaluation of the area. .	148
<i>I.G. Korobanova.</i> Geological engineering analysis of the stages of the postsedimentary changes in terrigenous sedimentary formation	153
<i>N.A. Platov.</i> Investigation of structural bonds nature of loose sandy soils	162
<i>I.S. Bocharova, U.F. Zakharov.</i> Structurally unstable soils of different composition and methods of estimation of the soil engineering-geological properties. . . .	167
<i>L.I. Kulchitsky.</i> Anisotropy of shear strength and long-time strength of water-saturated clay soils	175
<i>A.I. Sheko, V.S. Krupoderov.</i> Temporal prediction of engineering geological processes	188
<i>V.V. Kuntsel, G.P. Postoev, G.R. Khositashvili.</i> Some theoretical aspects of regional predictions of landslides	193
<i>M.V. Ratz, N.B. Ivanova, G.L. Rusin, B.G. Sleptsov.</i> Calculation of engineering-geological characteristics of rock massives on the basis of jointing parameters	199
<i>S.D. Voronkevich, L.A. Evdokimova, N.A. Larionova, E.N. Ogorodnikova.</i> Geochemical and physico-chemical aspects of fabric formation in soil stabilization using fly-ashes	204
<i>R.S. Ziangirov, L.S. Voskresenskaya, E.R. Chernyak.</i> Basic methods of engineering-geological examination of technogene soils (ashes and slag)	213
<i>L.B. Rozovsky.</i> Engineering-geological problems of exploration of occurrences of marine sands	222
<i>I.A. Turchaninov, V.I. Panin.</i> Seismoacoustic control of quality of natural facing and building stones.	226

УДК 556.01:556.3.01

Современные проблемы гидрогеологии. Куликов Г.В., Ковалевский В.С., Фролов Н.М., Ферронский В.И., Швец В.М., Плотников Н.А., Гавич И.К. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассмотрены состояние и перспективы развития фундаментальных разделов гидрогеологии (региональной гидрогеологии, гидрогеодинамики, гидрогеотермии и гидрогеохимии), а также в области теории и методов гидрогеологических прогнозов как необходимой основы управления гидрогеологическими процессами.

УДК 556.3.01

Основные типы гидрогеологических структур земной коры и закономерности их обводнения. Рогов Г.М. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы", М.: Наука, 1980.

Дается типизация гидрогеологических структур земной коры. Структурами первого порядка называются материки и океаны, а второго — платформы и геосинклинальные области. На платформах выделяется три типа гидрогеологических структур (кристаллические массивы, древние артезианские бассейны и молодые), а в геосинклинальных областях два типа — древние и молодые гидрогеологические складчатые области.

Библиогр. 6 назв.

УДК 556.382

К вопросу о формировании ресурсов пресных подземных вод в различных природных условиях. Плотников Н.И. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассмотрены общие закономерности формирования и распространения ресурсов пресных подземных вод на территории СССР на базе типизации основных природных факторов.

Библиогр. 2 назв.

УДК 556.301

Связь условий формирования ресурсов подземных вод с геолого-структурными факторами. Боровский Б.В., Кочетков М.В., Шестопалов В.М., Язвин Л.С. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассмотрено влияние геолого-структурных факторов на условия формирования ресурсов подземных вод и принципы изучения их на основе гидрогеологической информации.

УДК 532.5 + 556.332.52

Система управления региональными эксплуатационными ресурсами подземных вод. Зильберг В.С., Красс М.С., Пантелеев И.Я. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы", М.: Наука, 1980.

Излагается возможность решения задач региональной оценки эксплуатационных запасов подземных вод с помощью системы управления матричными эволюционными моделями геофильтрации.

УДК 556.01

Комплексный анализ гидрогеологических условий артезианских бассейнов в целях региональной оценки ресурсов подземных вод. Гребенщикова Т.Б., Кашковский Г.Н., Фомин В.М. Сб. "Гидрогеология, Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассмотрены методы комплексного анализа гидрогеологических условий артезианских бассейнов с применением моделирования для региональной оценки ресурсов подземных вод.

Ил. 1

УДК 556.38

Литолого-генетический и геоструктурный анализы терригенных толщ при обосновании гидрогеологических моделей. Семенова-Ерофеева С.М., Водоватова З.А., Ключевин А.Н. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Гидрогеологические объекты являются сложными природными водообменными системами, исследование которых эффективно проводить с помощью их гидрогеологических моделей. Рассматриваются некоторые основные принципы литолого-генетического и геоструктурного анализов многосложных терригенных толщ при разработке следующих аспектов гидрогеологического обоснования модели: изучение структуры моделируемой водообменной системы, исследование региональных закономерностей распределения фильтрационных параметров, оценка достоверности модели.

Ил. 2

УДК 556.001.57

Геологическая модель артезианского бассейна платформенного типа. Севоложский В.А., Севоложская М.А. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Обосновывается геологическая модель артезианского бассейна платформенного типа, характеризуются границы бассейна и условия на основных типах границ; общие закономерности строения разреза и распределения фильтрационных свойств водоносных и слабопроницаемых пород; гидродинамическая структура бассейна; геолого-гидрогеохимическая структура бассейна, определяемая характером и направленностью процессов массообмена и массопереноса.

Ил. 1

Удк 553.7 + 553.78 + 661.424

Управление ресурсами и качеством подземных вод в горнодобывающих районах. Мироненко В.А., Кирюхин В.А., Коротков А.И. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы", М.: Наука, 1980.

Рассматриваются региональные изменения гидрогеологической обстановки в результате эксплуатации крупных горнодобывающих предприятий. Формируются основные направления гидрогеологических исследований в горнодобывающих районах для эффективного управления ресурсами и качеством подземных вод.

УДК 532.5 + 556.332.52

Прогноз режима грунтовых вод с учетом изменения водоотдачи пород во времени. Барон В.А. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Показана необходимость учета изменения водоотдачи пород во времени при расчетах безнапорной фильтрации. Дана методика расчетов режима уровня грунтовых вод и основных гидрогеологических параметров с учетом указанного фактора.

Ил. 1, табл. 1, библиогр. 2 назв.

УДК 551.496

Гидрогеологическая классификация орошаемых районов аридной зоны на основе количественных показателей. Кац Д.М. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

На основе опыта гидрогеологических исследований предложен комплекс качественных показателей, позволяющий типизировать орошаемые районы по сложности их мелиоративного освоения.

Табл. 1

УДК 556.332.5 : 552.5

Зональность подземных вод в гумидных и аридных условиях и теория литогенеза. Островский В.Н. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассматривается взаимосвязь формирования подземных вод с процессами литогенеза, что дает возможность по-новому осветить ряд гидрогеологических закономерностей. Освещаются основные факторы, влияющие на площадную зональность подземных вод в гумидных и аридных условиях.

Библиогр. 4 назв.

УДК 551.496

Методика и результаты изучения запасов подземных вод и их роль в общем водном балансе аридных районов. Мирзаев С.Ш. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассматриваются запасы подземных вод как часть общих водных ресурсов в аридных районах и устанавливается их роль в общем водном балансе. Особое внимание уделяется влиянию широкой их эксплуатации на поверхностный сток и сложившуюся экосистему и агротехнику орошаемого земледелия и прогнозированию влияния водохозяйственных переустройств на запасы подземных вод.

Библиогр. 3 назв.

УДК 556. 1

Водообмен в артезианских бассейнах платформенного типа Украины в естественных и нарушенных эксплуатацией условиях. Бабинец А.Е., Шестопалов В.М., Литвак Д.Р. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Выявлен ряд особенностей водообмена, определяющих условия формирования ресурсов подземных вод верхних гидрогеологических зон артезианских бассейнов платформенного типа. Рассмотрены последствия интенсивной эксплуатации подземных вод и приведены примеры возможного рационального управления водными ресурсами.

УДК 532.5

Вопросы гидрогеологического обоснования проблемы территориального перераспределения речного стока. Воропаев Г.В., Зекцер И.С., Антыпко Б.Е. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

В докладе рассматриваются вопросы оценки влияния планируемых в СССР мероприятий по перераспределению речного стока на гидрогеологические условия в районах изъятия, транзита и использования перебрасываемых речных вод, кратко характеризуются основные направления исследований.

УДК 556.3.001.5

Влияние температуры и минерализации подземных вод на проницаемость глинистых водоупоров. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология, строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассматриваются результаты комплекса экспериментальных работ по изучению влияния минерализации, состава и температуры подземных вод на проницаемость глин.

Ил. 2.

УДК 550.36:553.044.001.33

Классификация, принципы изучения и оценки ресурсов глубинного тепла Земли. Маврицкий Б.Ф., Шпак А.А. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассмотрены вопросы классификации, районирования перспективных территорий, изучения и промышленного освоения ресурсов глубинного тепла Земли. Обоснован и сформулирован геолого-экономический принцип региональной оценки этих ресурсов. Подчеркнута важность составления каталога месторождений и перспективных площадей с хранением информации в памяти ЭВМ.

Табл. 1, библиогр. 3 назв.

УДК 556.3.001.5

Дистанционное гидрогеотермическое зондирование и поиски полезных ископаемых. Лялько В.И., Митник М.М., Вульфсон Л.Д. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Авторами рассматриваются некоторые дистанционные методы исследования геологических объектов с целью поиска полезных ископаемых с использованием тепловой съемки земной поверхности в ИК и радиотепло-

вом диапазонах и интерпретацией данных с помощью теории тепломассопереноса.

Библиогр. 5 назв.

УДК 556.3.001.57

Обоснование расчетных схем при определении скорости фильтрации по данным нестационарного температурного режима. Р о ш а л ь А.А., Ч у л а е в с к и й В.Б. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980, с.

Приводятся теоретические соображения и экспериментальные данные, поясняющие необходимость предварительного обоснования применимости расчетной схемы теплопереноса и определения соответствующих этим схемам параметров для оценки скорости фильтрации по данным нестационарного температурного режима.

Ил. 2, библиогр. 7 назв.

УДК 553.7 + 553.78 + 661.424

Природа минерализованных вод в кристаллических породах фундамента. Б о г о м о л о в Г.В., Б о г о м о л о в Ю.Г. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассматривается механизм отжатия минерализованных подземных вод из геологических депрессий, заполненных осадочными глинистыми породами, которые поступают в окружающие кристаллические породы. Фактические данные о наличии минерализованных подземных вод в кристаллическом основании и механизм их происхождения позволяют прогнозировать поиски различных полезных ископаемых.

Библиогр. 21 назв.

УДК 541.124

Естественный радиолиз системы "вода—горная порода" и его вклад в геохимию подземных вод и водовмещающих пород. В о в к И.Ф. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассматривается естественный радиолиз системы "вода—порода", являющийся одним из механизмов формирования состава некоторых типов минеральных, термальных и промышленных вод, рудоносных растворов, газообразования и эпигенетического преобразования водовмещающих горных пород.

Библиогр. 18 назв.

УДК 551.49 : 550.84

Гидрогеохимические среды подземных водных растворов и закономерности их взаимодействия с минеральным веществом горных пород. Щ е р б а к о в А.В., З в е р е в В.П. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Выявлены основные генетические типы гидрогеохимических сред подземных вод, обуславливающие образование и эволюцию эпигенетических минералов: кислородная сернокислая, кислородная кислая, углекислая содовая, углекислая хлоридно-содовая, сероводородная хлоридно-содовая и сероводородная. Показаны термодинамические закономерности их взаимодействия с минеральным веществом горных пород.

Табл. 1, библиогр. 7 назв.

УДК 550.42

Прогнозирование химического состава подземных вод на основе машинного моделирования физико-химических взаимодействий в системе "вода—порода". Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Василькова И.В. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

На ЭВМ Минск-32 реализована программа прогноза химического состава подземных вод с учетом физико-химического взаимодействия в системе "вода—порода" в естественных и нарушенных условиях. Сопоставление результатов моделирования с данными экспериментальных исследований показало хорошую сходимость.

Илл. 1, библиогр. 13 назв.

УДК 556.314

Геохимическая эволюция состава подземных вод в алюмосиликатных породах. Шварцев С.Л. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

На основе обобщения большого гидрогеохимического материала и термодинамического анализа системы "вода—CO₂—алюмосиликаты" показана химическая природа неравновесности воды с эндогенными породами, которая определяет принципиальную возможность растворения алюмосиликатов в течение всего времени нахождения в них воды. По мере геологической эволюции системы "вода—порода" меняется характер геохимической среды, состав вторичных образований и соответственно состав подземных вод.

Библиогр. 8 назв.

УДК 550.836.461

Гидрогеохимические поля эндогенных месторождений. Колотов Б.А. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

При взаимодействии рудного месторождения (или другого природного объекта) и воды в гидросфере формируется гидрогеохимическое поле с определенным комплексом химических элементов. Концентрация этих элементов, формы их существования и взаимоотношения в водах характерны для конкретного природного объекта.

Табл. 2, библиогр. 4 назв.

УДК 624.131:502.76

Инженерная геология и охрана окружающей среды. Сергеев Е.М. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

В докладе рассмотрены геологические основы охраны окружающей среды, главные элементы геологической среды, определены основные задачи, стоящие перед инженерной геологией в этой области. Доклад освещает современное состояние проблемы, подчеркивает огромное значение хозяйственной деятельности человека на эволюцию поверхности и недр Земли как планеты.

Библиогр. 14 назв.

УДК 550.34 (576.5) : 551.243

Уникальный инженерно-сейсмологический эксперимент в экономической зоне Байкало-Амурской железной дороги. С о л о н е н к о В.П. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

В работе дана инженерно-геологическая характеристика крупной территории, прилегающей к трассе БАМ с учетом ее исключительно разнообразного геологического строения, сейсмичности, наличия вечной мерзлоты, специфических климатических условий. Значительное место уделено возможному развитию экзогенных геологических процессов, которые в зоне БАМ развиваются с большой скоростью.

Ил. 9, библиогр. 16 назв.

УДК 624.131:502.76

Инженерно-геологические проблемы в области охраны окружающей среды. О с и п о в Ю.Б., З и л и н г Д.Г. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Доклад посвящен одной из актуальных проблем охраны и рационального использования геологической среды. В работе определен круг наиболее актуальных задач, которые сводятся к разработке научных основ локальных и региональных прогнозов изменения геологической среды, составлению комплекса среднесапубличных специализированных карт, разработке методов прогноза развития экзогенных геологических процессов и т.д.

Табл. 1.

УДК 624.131.31

Типизация инженерно-геологических условий как основа региональной инженерно-геологической оценки территории. Ч у р и н о в М.В., Ц ы п и н а И.М., Л а з а р е в а В.П. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассматривается вопрос о типизации инженерно-геологических условий как основы региональной инженерно-геологической оценки территории. Инженерно-геологическая характеристика каждого типа территории дается на основе оценки комплекса природных факторов с учетом ландшафтно-климатической зональности и сейсмичности.

УДК 624.131.4

Инженерно-геологический анализ стадий постседиментационных изменений терригенных осадочных образований. К о р о б а н о в а И.Г. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Работа посвящена инженерно-геологическому анализу стадий постседиментационных изменений некоторых типов терригенных осадочных образований с целью выяснения природы их прочности и деформируемости. Завершение стадий диагенеза предлагается определять по степени дегидратированности и уплотненности глинистых пород, а критерием перехода к позднему диагенезу предлагается считать такую фазу дегидратированности пород, когда в них остается только прочносвязанная вода. Качественные изменения физико-механических свойств пород могут служить границами зон литификации и соответственно критериями для выделения этапов литогенеза.

Табл. 1, ил. 2, библиогр. 3 назв.

УДК 624.131.3

Природа прочности структурных связей нецементированных песчаных грунтов. П л а т о в Н.А. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Работа базируется на основных положениях советского генетического грунтоведения, применяются современные представления физико-химической механики горных пород. С помощью комплекса классификационных показателей отмечено, что нецементированные песчаные грунты обладают различными типами структурных связей.

Библиогр. 4 назв.

УДК 624.131.4

Структурно-неустойчивые грунты различного состава и методы оценки их инженерно-геологических свойств. Б о ч а р о в а И.С., Захаров Ю.Ф. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

В работе рассмотрены вопросы генезиса вообще и формирования структурных связей в частности в слабых грунтах аллювиального и озерно-аллювиального комплексов района Средней Оби. Результаты показывают, что при близком составе породообразующих минералов глинистые отложения различных генетических типов существенно отличаются по содержанию органического вещества, содержанию железа, составу обменных катионов и т.д.

Табл. 3, библиогр. 4 назв.

УДК 624.131.536

Анизотропия сдвиговой прочности и длительная прочность водонасыщенных глинистых грунтов. К у л ь ч и ц к и й Л.И. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы" М.: Наука, 1980.

В работе рассматривается анизотропия сдвиговой прочности водонасыщенных глинистых грунтов и показано, что анизотропия сдвиговой прочности пластичных глин определяется площадью контакта частиц и энергией связи между частицами.

Табл. 3, ил. 6, библиогр. 15 назв.

УДК 624.131.31

Временное прогнозирование экзогенных геологических процессов. Ш е к о А.И., К р у п о д е р о в В.С. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Работа посвящена прогнозу развития во времени экзогенных геологических процессов. Факторы, определяющие развитие процессов, подразделены на три группы: постоянные, медленно изменяющиеся и быстро изменяющиеся. В докладе приводятся основные положения методики статистической обработки рядов проявления экзогенных геологических процессов, устанавливается цикличность их проявления, методика составления карт долгосрочных региональных прогнозов активизации селей, оползней, абразии.

Илл. 3.

УДК 624.131.31

Некоторые теоретические аспекты региональных прогнозов оползней. К ю н т ц е л ь В.В., П о с т о е в Г.Н., Х о с и т а ш в и л и Г.Р. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы. М.: Наука, 1980.

Рассматриваются некоторые теоретические аспекты региональных прогнозов оползней на основе системного подхода, позволяющего комплексно оценить большое число факторов, влияющих на процесс.

Ил. 1, библиогр. 6 назв.

УДК 624.131.25

Расчет инженерно-геологических характеристик скальных массивов по параметрам трещиноватости. Р а ц М.В., И в а н о в а Н.Б., Р у с и н Г.Л., С л е п ц о в Б.Г. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Работа посвящена расчету инженерно-геологических характеристик скальных массивов по параметрам трещиноватости. Рассмотрены задачи оценки водопроницаемости, деформируемости, блочности и пустотности скальных массивов на основе обработки массовых измерений параметров трещиноватости. Предложенные методы оценки скальных массивов дают результаты, сопоставимые с данными опытно-фильтрационных работ.

Библиогр. 9 назв.

УДК 624.131.41 + 550

Геохимические и физико-химические аспекты структурообразования при укреплении дисперсных грунтов с использованием зол тепловых станций. В о р о н к е в и ч С.Д., Е в д о к и м о в а Л.А., Л а р и о н о в а Н.А., О г о р о д н и к о в а Е.Н. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

В работе анализируются геохимические и физико-химические аспекты структурообразования при укреплении дисперсных грунтов с использованием зол тепловых станций. Обсуждается проблема использования зол для закрепления глинистых грунтов. Исследованы процессы старуруктурообразования, свойства золоцементогрунтов. Совокупность выявленных физико-химических процессов позволила выделить основные стадии твердения золоцементогрунтов.

Табл. 3, ил. 4.

УДК 624.131.3

Основы методики инженерно-геологических исследований техногенных грунтов (на примере шлаков и зол). З и а н г и р о в Р.С., В о с к р е с е н с к а я Л.С., Ч е р н я к Э.Р. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Разработаны основы методики инженерно-геологических исследований техногенных грунтов на примере зол и шлаков. Инженерно-геологическая типизация зол и шлаков позволяет выбрать оптимальный комплекс методов исследования техногенных грунтов.

Табл. 2, ил. 2.

УДК 624.131/132

Инженерно-геологические проблемы добычи морских строительных песков и методы их решения. [Розовский Л.Б.] Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Разработаны основы прогноза разрушения пляжей и нарушения устойчивости подводных склонов при эксплуатации месторождений морских песков с учетом геолого-геоморфологических, гидродинамических и других признаков. В аспекте влияния разработки на геологическую среду все месторождения морских песков разделены на две группы "А" и "Б", в зависимости от удаленности месторождения от береговой линии.

Библиогр. 3 назв.

УДК 624.131.32

Сейсмоакустический контроль качества природного облицовочного и строительного камня. Турчанинов И.А., Панин В.И. Сб. "Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы". М.: Наука, 1980.

Рассматривается методика сейсмоакустического контроля качества природного облицовочного и строительного камня. Показано, что скорость продольных волн может служить параметром контроля трещиноватости только на обнажениях и карьерах.

Табл. 2, ил. 4, библиогр. 6 назв.

**ГИДРОГЕОЛОГИЯ.
ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ
И СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

*Утверждено к печати
Национальным комитетом геологов
Советского Союза*

Редактор *Н.А. Платов*
Художественный редактор *С.А. Литвак*
Технический редактор *Н.М. Бурова*
Корректор *В.Н. Пчелкина*

ИБ № 17171

Подписано к печати 21.05.80. Т-08539
Формат 60 × 90 1/16. Бумага офсетная № 1
Печать офсетная
Усл.печ.л. 15,5 + 0,1 вкл. Уч.-изд.л. 17,9
Тираж 1400 экз. Тип. зак. 1010. Цена 2 р. 70 к.

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

2 р. 70 к.

3293