

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М. В. ЛОМОНОСОВА

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра грунтоведения и инженерной геологии

На правах рукописи

УДК 624.138

МАКСИМОВИЧ Николай Георгиевич
ПОСТИНЪЕКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ
ПРИ ТАМПОНИРОВАНИИ ГИПСОНОСНЫХ
КАРБОНАТНЫХ ПОРОД СИЛИКАТНЫМИ
РАСТВОРАМИ
(на примере Камской ГЭС)

**Специальность 04.00.07 — инженерная геология,
мерзлотоведение и грунтоведение**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

МОСКВА—1984

Работа выполнена на кафедре грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета МГУ.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор **С. Д. Воронкевич**.

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор **Р. С. Зиангиров**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент **Л. А. Молоков**.

Ведущая организация: Всесоюзное ордена Ленина объединение «Гидроспецстрой».

Защита состоится 6 апреля 1984 года в 13 часов на заседании специализированного совета К.053.05.06 по инженерной геологии и мерзлотоведению при МГУ по адресу: 117234, Москва, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет, аудитория 415.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологического факультета МГУ.

Автореферат разослан _____ марта 1984 г.

Ученый секретарь совета по инженерной геологии и мерзлотоведению, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник **Н. С. Красилова**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Возрастание масштабов гидротехнического строительства приводит к необходимости освоения территорий, неблагоприятных в инженерно-геологическом отношении, в том числе и при наличии в разрезе растворимых пород, в частности гипса. При сооружении гидроузлов в таких условиях вопросы надежности оснований имеют наибольшую актуальность. В последние годы проблемы, связанные с наличием в основании гипса, имеют место на действующих и проектируемых плотинах, таких как Камская, Рогунская, Ирганайская, Нижне-Кафирниганская. Зарубежный опыт показывает, что отсутствие надежных мероприятий по защите гипса от растворения может привести к трагическим последствиям. Наиболее распространенным противофильтрационным мероприятием в основании плотин является завеса. Для защиты гипса от растворения она должна обладать высокой плотностью. При создании завес применяется новый эффективный способ – инъекция химических растворов. По оценкам специалистов на период до 1990 г. наибольший объем применения химических растворов ожидается именно в этой области.

Инъекция химически активных компонентов обуславливает существенное изменение геохимических параметров природных сред. Это может вызвать химические и физико-химические процессы, влияющие на свойства пород, действие которых после завершения работ может усилить или снизить достигнутый положительный эффект. Изучение этих процессов необходимо для достижения лучших конечных результатов. Именно такая задача выделяется в качестве одной из главных в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981–1985 годы и на период до 1990 года». В настоящее время мало систематических данных о процессах, происходящих после окончания инъекции, отсутствует комплексный подход к их изучению. Практика создания завес методом инъекции показала необходимость оценки влияния указанных процессов на эффективность работы завесы. В полном объеме впервые

эта проблема проявилась в ходе эксплуатации Камской ГЭС, основание которой сложено трещиноватыми породами, содержащими гипс. Здесь в условиях действующей ГЭС производилось доуплотнение теряющей эффективность во времени цементационной завесы щелочным шавелевоалюмосиликатом (ЩАС) раствором.

Цель работы заключалась в изучении направленности, характера и интенсивности постинъекционных процессов, возникающих при изменении геохимической обстановки в результате применения силикатных растворов и их влияния на химическую устойчивость гипса и тампонажного геля в связи с оценкой качества и долговечности завесы. Для достижения названной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Исследовать химические и физико-химические закономерности образования постинъекционных растворов при уплотнении силикатными растворами гипсоносных скальных массивов с минерализованными подземными водами. Эта задача включает:

- изучение процессов, происходящих при смешивании силикатного раствора с подземными водами;
- выявление роли диффузии компонентов жидкой фазы геля в формировании постинъекционных растворов;
- анализ изменений химического состава подземных вод в районе противofильтрационной завесы.

2. Исследовать химическую устойчивость гелей в теле завесы при их взаимодействии с минерализованными подземными водами.

3. Исследовать механизм взаимодействия постинъекционных растворов с гипсом с целью оценки его химической устойчивости.

4. Дать количественную оценку влияния формирования и развития во времени специфической техногенно-геохимической обстановки на фильтрационные параметры пород и завесы.

Методика и объем исследований. При инженерно-геологической характеристике пород основания Камской ГЭС использовались материалы

изысканий для строительства института Гидропроект. Для уточнения литологических особенностей пород и форм нахождения в них гипса на сканирующем электронном микроскопе изучено 10 образцов, а также просмотрено 10 шлифов. Изучение изменения гидродинамических и гидрохимических условий в основании плотины производилось на основе анализа данных режимных наблюдений, производимых Гидроцехом Камской ГЭС. Приведен ряд контрольных анализов вод. Закономерности формирования техногенных вод в районе завесы изучались путем приготовления смесей ЩАС золя с растворами электролитов и подземных вод и изучения изменения химического состава во времени. Для экспериментов использованы 5–6 соотношений золь – разбавитель и 8 разбавителей, то есть выполнено 45 опытов продолжительностью до 8 месяцев. Проведено изучение изменения химического состава при контакте растворов с гелем (18 опытов) продолжительностью 120–144 суток. Состав и структура гелей после контакта с растворами и гелей, образовавшихся из смесей золя с растворами, изучались на рентгеновском дифрактометре, рентгеновском спектрометре, дериватографе, сканирующем и просвечивающем электронных микроскопах и анализаторе структур. Изучено изменение состава различных растворов при взаимодействии с гипсом (6 опытов продолжительностью 6 месяцев). Для исследования влияния постинъекционных растворов на гипс в динамических условиях сконструирована автоматическая фильтрационная установка, на которой проведено 17 опытов с различными растворами продолжительностью от часа до 48 суток. Состав и строения новообразований на гипсе изучались на сканирующем электронном микроскопе и рентгеновском дифрактометре. Проведены 4 опыта по изучению процессов при контакте геля с породами продолжительностью 6 месяцев. Химические анализы растворов производились по методикам, разработанным в Проблемной лаборатории МГУ. Оценка изменения коэффициентов фильтрации пород основания Камской ГЭС производилась путем обратных расчетов

по программе, составленной в Проблемной лаборатории МГУ на ЕС ЭВМ 1022. Произведено 212 расчетов, занимающих 7 мин. машинного времени каждый.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- обоснована необходимость изучения постинъекционных процессов, выделены основные факторы, определяющие их интенсивность, дана комплексная оценка влияния этих процессов на свойства пород;

- установлены закономерности формирования техногенных вод в районе завесы, что позволило обосновать вывод об их локальном распространении в районе завесы в отличие от имевшихся ранее представлений о формировании обширных зон с такими водами;

- дана оценка влияния формирующихся техногенных условий на химическую устойчивость гипса, показавшая, что гипс является устойчивым при воздействии на него щелочных силикатных растворов;

- выявлен механизм процессов, происходящих при взаимодействии тампонажных гелей с подземными водами, ведущих к их уплотнению; впервые показано, что в закрепленном массиве существуют условия для роста в гелях кристаллических новообразований;

- проведена количественная оценка влияния постинъекционных процессов на изменения коэффициентов фильтрации пород и завесы, показавшая их положительное влияние на качество завесы и проницаемость пород, примыкающих к ней.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

- выявленная локализованность постинъекционных процессов определяет основные принципы проектирования системы химического контроля в районе завесы;

- установленное отсутствие агрессивности силикатных растворов по отношению к гипсу позволяет рекомендовать их для широкого применения при создании противofильтрационных завес в гипсоносных породах;

- предложенная методика количественных расчетов изменения во времени фильтрационных параметров пород основания плотины позволяет давать оперативную оценку качества завесы и сохранности гипса.

Реализация работы. Результаты работы использованы в институте Гидроспецпроект Минэнерго СССР, объединении ПермьЭнерго при оценке долговечности противофильтрационной завесы и сохранности гипса в основании Камской ГЭС. Результаты исследований по воздействию силикатных растворов на гипс учтены при разработке комплекса мероприятий по защите гипса от растворения в основании Нижне-Кафирниганской плотины, проводимых институтами Гипроводхоз и Гидроспецпроект. Отдельные фрагменты работы используются в учебном процессе на Геологическом факультете МГУ.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Филатовских чтениях (Москва, 1978), на двух научно-технических совещаниях «Инженерная геология Западного Урала» (Пермь, 1980, 1982), на конференции молодых ученых и аспирантов МГУ (Москва, 1982), на Всесоюзном совещании «Строительство на закарстованных территориях» (Подольск, 1983) и на семинаре Проблемной лаборатории Геологического факультета МГУ (Москва, 1983). Результаты опубликованы в 13 печатных работах, 2 сданы в печать.

В основу работы положены исследования, основная часть которых была выполнена автором в 1980–1983 гг. в период обучения в очной аспирантуре Геологического факультета МГУ. Работа велась по тематике Проблемной лаборатории по закреплению грунтов.

Объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, выводов, содержит ___ страниц текста, 54 рисунка, 14 таблиц. Список литературы включает 196 наименований.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, профессору, доктору геолого-минералогических наук С. Д. Воронкевичу за постоянную помощь и внимание к работе. Автор благодарен сотрудникам кафедры грунтоведения и инженерной геологии З. А. Кривошеевой,

Е. Н. Коломенскому, В. Н. Соколову, Н. А. Румянцевой, В. Г. Шлыкову, которые помогли выполнить специальные исследования, а также сотрудникам кафедр кристаллографии, геохимии, гидрогеологии, оказавшим содействие в выполнении работы. Искренне признателен автор сотрудникам Проблемной лаборатории и прежде всего Л. А. Евдокимовой, В. И. Сергееву, С. Н. Емельянову, И. П. Тейшовой за советы и помощь в ходе выполнения лабораторных работ. Автор благодарит Дирекцию Камской ГЭС за оказанное содействие при сборе материалов. Расчеты на ЭВМ производились в проектно-вычислительном отделе института Гидроспецпроект, сотрудникам которого автор выражает благодарность.

На защиту выносятся следующие положения:

- необходимость выделения группы специфических постинъекционных физико-химических процессов и комплексной оценки их влияния на свойства грунта;
- физико-химические закономерности формирования техногенных подземных вод при силикатизации;
- механизм взаимодействия алюмосиликатных гелей с минерализованными подземными водами и его влияние на долговечность гелей;
- закономерности и методика исследования воздействия на гипс постинъекционных силикатсодержащих растворов;
- методика и результаты количественной оценки влияния постинъекционных процессов на проницаемость пород и завесы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Характеристика постинъекционных процессов (глава I).

В первом разделе главы проводится анализ современных представлений о химическом в физико-химическом взаимодействии инъекционных материалов и продуктов их твердения с грунтом и подземными водами в ходе инъекции и после ее окончания. Изучению такого взаимодействия посвящены работы Е. М. Сергеева, С. С. Морозова, А. И. Адамовича,

С. Д. Воронкевича, В. В. Аскалонова, В. Е. Соколовича, Б. А. Ржаницына, Р. С. Зиангирова, В. П. Ананьева, Л. А. Евдокимовой, Е. Н. Огородниковой, Д. В. Гончаровой, В. И. Сергеева, В. Ф. Демина, В. М. Голоднова, Л. П. Шуваловой и др. Закрепленные грунты продолжают претерпевать изменения после окончания инъекции под действием различных физико-химических процессов, возникших под влиянием изменения геохимической обстановки в массиве. Как показывает практика в ряде случаев эти процессы приводят к существенным изменениям свойств закрепленных и окружающих их грунтов.

Процессы, происходящие при взаимодействии инъецируемых растворов, их компонентов и продуктов искусственной цементации с твердой, жидкой и газообразной составляющими грунта после окончания инъекции я изменяющие его физико-механические и фильтрационные свойства, предлагается называть постинъекционными. Они представляют собой комплекс разнообразных гетерогенных химических и физико-химических реакций и процессов, протекающих в закрепленном массиве. Важными характеристиками постинъекционных процессов являются направленность, продолжительность, интенсивность, результат воздействия и область распространения. Основными факторами, определяющими интенсивность постинъекционных процессов, являются химическая и физико-химическая активность вносимых в грунт веществ и компонентов массива – пород, подземных вод и газов, а также миграционная способность вещества в массиве, которая определяет интенсивность поступления реагентов в сферу и из сферы реакции.

Инженерно-геологические особенности района створа

Камской ГЭС (глава 2)

Выбор Камской ГЭС в качестве объекта для изучения постинъекционных процессов обусловлен следующими причинами: высокой химической активностью гипса, залегающего в основании этой плотины, и силикатных инъекционных растворов, что обуславливает активное проявление

постинъекционных процессов; наличием данных многолетних режимных гидрохимических и гидродинамических наблюдений, что позволяет проследить возникновение и изменение во времени техногенно-геохимической обстановки; большой практической значимостью результатов по оценке химической устойчивости гипса в условиях действующей плотины.

Район створа Камской ГЭС приурочен к восточной окраине Восточно-Европейской платформы. В зону влияния сооружения входят пермские отложения: (сверху вниз) шешминский горизонт (P_{2ss}), представленный переслаивающимися аргиллитами, алевролитами, песчаниками; соликамский горизонт (P_{2sl}), сложенный известняками, доломитами и мергелями с прослоями, линзами, кристаллами гипса (до 35 %). Ниже залегают гипсы в ангидрита иренского горизонта (P_{1ig}), являющиеся региональным водоупором. В основании ГЭС выделяются три водоносных горизонта: шешминский, для которого характерны гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные воды с минерализацией 0,4–2 г/л; верхнесоликамский с сульфатными и хлоридно-сульфатными водами (1,5–35 г/л) и нижнесоликамский, вода которого представляют собой рассолы с минерализацией до 80 г/л.

Предусмотренная проектом цементационная завеса оказалась малоэффективной, поскольку тонкотрещиноватые породы плохо поддаются цементации. За 20 лет эффективность ее еще уменьшилась, появились признаки выщелачивания гипса. В этой ситуации было принято решение об уплотнении завесы гелеобразующим ЩАС раствором, разработанным С. Д. Воронкевичем и Л. А. Евдокимовой. Раствор готовится на основе силиката натрия плотностью 1,19 г/см³ и отвердителя – раствора сернокислого алюминия (50 г/л) и щавелевой кислоты (50 г/л). В результате выполненных работ возросли перепады напоров на завесе в 1,5–5 раз, увеличилась устойчивость плотины на сдвиг на 5–10 %.

На базе представлений о техногенно-геохимических системах (С. Д. Воронкевич) и с учетом конкретных условий района завесы в качестве основных объектов исследований были выделены следующие бинарные системы, характеризующиеся наиболее контрастными геохимическими условиями: гель – подземные воды, гипс – техногенные вода, гель – гипс.

Исследование взаимодействия силикатных растворов и гелей с минерализованными подземными водами (глава 3).

В соответствии с задачами исследований в первом разделе главы проанализированы основные свойства природных и искусственных силикатных водных систем, наиболее важных при изучении постинъекционных процессов: условия существования различных форм кремнекислоты и их химическая активность; закономерности миграции и осаждения кремнезема в природных условиях; химическая устойчивость осажденного кремнезема.

Во втором разделе главы рассмотрены основные свойства силикатных гелей. Анализ литературных данных по этому вопросу позволил предположить, что гели при контакте с минерализованными подземными водами будут претерпевать существенные изменения: может происходить уплотнение геля, существуют условия для роста в них кристаллов, затруднена диффузия компонентов интермицеллярной жидкости в раствор.

Для оценки влияния на гипс техногенных вод необходимо было прежде всего выяснить закономерности их формирования. Эти воды образуются под действием двух факторов: 1) в результате гидродинамической дисперсии раствора в ходе инъекции и химических процессов в зоне разбавления раствора; 2) встречной диффузии компонентов в системе гель – подземные вода.

Изучение закономерностей процессов, происходящих при смешивании ЩАС золя с подземными водами, в лабораторных условиях производилось

путем приготовления смесей золя с подземными водами характерных гидрохимических типов, отобранных в основании Камской ГЭС и растворами индивидуальных солей при соотношении золь – разбавитель от 3:1 до 1:20. В приготовленных смесях исследовались: изменение химического состава во времени; особенности гелеобразования; состав и микростроение формирующихся гелей. Показано, что при больших разбавлениях золя объемный гель не образуется, в растворе за счет взаимодействия происходит снижение концентрации как кальция и магния разбавителя, так и компонентов золя: кремнезема, оксалат-иона и выпадение хлопьевидного осадка. Выполнен комплекс лабораторных исследований гелей из смесей, включающий рентгенографический и термический анализы, изучение состава геля на рентгеновском спектрометре, количественный анализ структур гелей с помощью метода математической морфологии по снимкам, полученным на сканирующем электронном микроскопе. Установлено, что в твердую фазу геля из раствора переходит кальций и магний, в результате чего происходит формирование более упорядоченных по сравнению с обычным гелем, более массивных структур с меньшим количеством крупных пор. Гели при любых соотношениях разбавителя рентгеноаморфны.

При лабораторном изучении процессов в системе гель – подземные вода проводилось исследование процесса диффузии компонентов интермицеллярной жидкости ЩАС геля в растворы и изменение состава и структуры гелей, а также оценка возможности роста кристаллов в геле. Для этого изучалось изменение во времени состава контактирующих подземных вод и растворов индивидуальных солей. Состав и структура гелей после взаимодействия исследовались указанными выше методами.

Комплекс лабораторных исследований позволил установить, что вследствие диффузии из раствора в гель ионов кальция и магния происходит гелеобразование интермицеллярной жидкости геля, содержащей неотвержденный силикат натрия, и хемосорбция этих ионов на поверхности скелета геля. Эти процессы приводят к существенному уплотнению

и упрочнению геля, увеличивает его химическую устойчивость. Содержание кальция и магния в твердой фазе геля возрастает до 15 раз. Диффундирующие в гель катиона кальция и магния взаимодействует с оксалат-ионом, находящимся в интермицеллярной жидкости геля. Это ведет к образованию кристаллов и оолитов оксалатов кальция и магния величиной до 2 мм, причем сплошность геля при этом не нарушается. Несмотря на широкое применение гелей в практике закрепления: грунтов, это явление в технической мелиорации ранее никем не отмечалось. По нашему мнению рост кристаллов в трещинах – это их своеобразная локальная цементация. Показана возможность для создания условий роста кристаллов в гелях других рецептов.

Указанные процессы осаждают значительную часть кремнезема, щелочи, оксалат-иона внутри геля, что затрудняет их выход в контактирующий раствор. Диффузия в раствор указанных компонентов геля происходит после того, как часть кальция и магния раствора поглотится гелем (рис. 1).

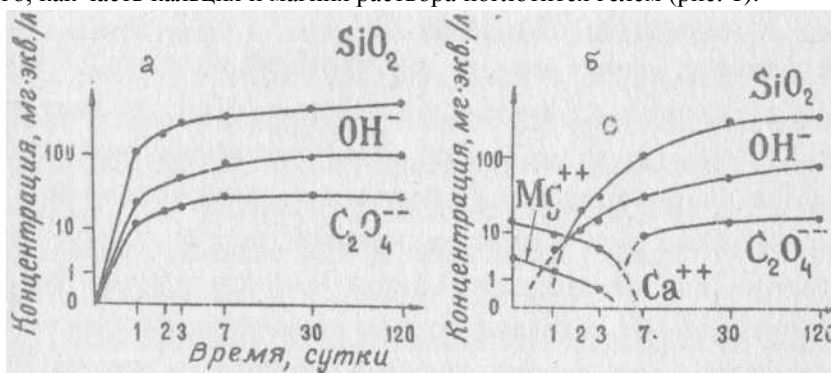


Рис. 1. Изменение концентрации компонентов раствора при контакте с гелем; а – дистиллированная вода, б – вода из скв. 225б с минерализацией 2,5 г/л.

Определение общего количества компонентов геля, переходящих в движущиеся по его поверхности растворы показало, что например, по сравнению с дистиллированной водой в раствор сернокислого кальция

(1,4 г/л) выносятся меньше кремнезема в 5,2 раза, щелочи – в 12,8 раз, оксалат-иона – в 40 раз. Диффундирующий из геля силикат натрия осаждается в растворе в виде объемного геля или хлопьев, в состав которых входит до 16 % кальция и магния.

Результаты лабораторных исследований согласуются с данными многолетних природных гидрохимических наблюдений. Техногенные компоненты не фиксируются в пробах воды уже вскоре после завершения инъекции. Вместе с тем наблюдается снижение концентрации в водах кальция и магния сразу после инъекции в медленное ее восстановление, то есть эти ионы поглощаются гелем. Таким образом, можно говорить, что компоненты ЦАС раствора: кремнезем, щелочь, оксалат-ион неустойчивы в условиях минерализованных вод основания Камской ГЭС, вследствие чего быстро осаждаются и играют ограниченную роль в формировании их химического состава. Эти компоненты в низких концентрациях могут короткое время существовать в подземных водах в непосредственной близости от завесы.

Исследование взаимодействия постинъекционных растворов с гипсом (глава 4)

К настоящему времени накоплен опыт, обобщенный в работах Г. С. Золотарева, А. Г. Лыкошина, Л. А. Молокова, И. В. Парабучева и др., и успешно ведется строительство плотин с карстующимися карбонатными породами в основании. Плотин, содержащих в основании гипс, значительно меньше. В первом разделе главы обобщены разрозненные сведения по более чем 30 плотинам, в основании которых залегают гипсы. При строительстве на гипсоносных породах необходимы надежные противофильтрационные мероприятия и постоянный контроль за их эффективностью, последнее в существенной мере зависит от характера и интенсивности воздействия постинъекционных процессов на химическую устойчивость гипса.

Исследования воздействия на гипс щелочных кремнеземсодержащих растворов, проведенные И. И. Феофаровой, В. В. Аскалоновым, В. Е. Соколовичем, В. П. Ананьевым, Л. П. Шуваловой и др., а также в Проблемной лаборатории МГУ

С. Д. Воронкевичем, Л. А. Евдокимовой, Е. Е. Огородниковой, Н. А. Ларионовой показали сложность происходящих при этом химических и физико-химических процессов. В настоящее время нет единого мнения о возможности закрепления гипсоносных пород силикатными растворами. Работа, проведенная автором, рассматривается как известный вклад в решение указанного вопроса.

Для исследования химической стороны взаимодействия в системе гипс – постинъекционные растворы пластины и фракции гипса заливались растворами, содержащими отдельные компоненты ЩАС золя и их смеси, и в течение 180 суток изучалось изменение их химического состава. Установлено, что гипс активно взаимодействует с этими растворами, в результате чего на его поверхности образуются пленки труднорастворимых соединений – оксалатов и гидросиликатов кальция, что снижает интенсивность химических реакций.

Другая часть исследований была посвящена изучению влияния взаимодействия гипса с движущимися растворами на изменения фильтрующего сечения трещин в гипсе, устойчивость пленок в условиях движущегося раствора и влияние пленок на скорость растворения гипса. Для этого была сконструирована автоматическая установка, в которой при постоянном гидравлическом градиенте через кругло-цилиндрический канал в гипсе фильтровались различные растворы (рис. 2). В данных условиях по изменению расхода можно судить о увеличении или уменьшении диаметра канала в процессе фильтрации.

При фильтрации дистиллированной воды происходит интенсивное растворение гипса (рис. 3). При фильтрации ЩАС золя различной степени разбавления (рис. 3) и его компонентов диаметр канала уменьшается вплоть до полного зарастания. На поверхности гипса формируются гидросиликаты кальция, оксалаты кальция (определенные рентгенометрически), причем этот процесс идет более интенсивно с уменьшением концентрации растворов. Электронно-микроскопическое изучение пленок показало, что они имеют неоднородное, довольно рыхлое строение.

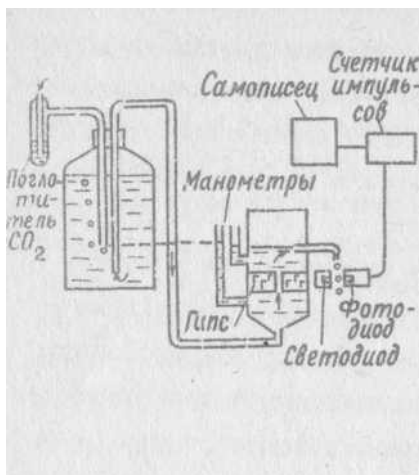


Рис. 2. Схема фильтрационной установки

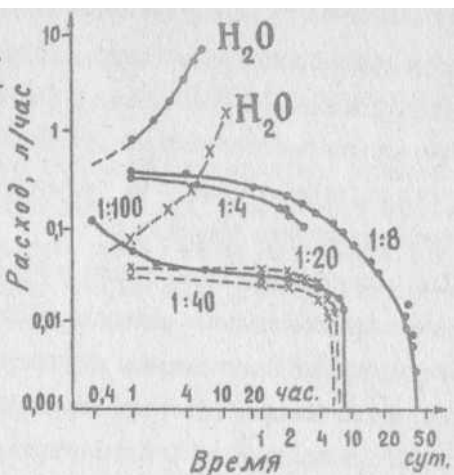


Рис. 3. Изменение расхода во времени при фильтрации ЦАС золя различной степени разбавления. Сплошная линия – гидравлический градиент 1,7; пунктирная – 0,17.

Изучением динамики насыщения дистиллированной воды сульфатом кальция при погружении в нее гипса с пленками и без пленок установлено, что пленки оказывают некоторое тормозящее действие на скорость растворения гипса.

Изучение процессов на контакте гипс – гель показало, что при этом не происходит растворения гипса и нежелательных изменений геля.

Влияние постинъекционных процессов на качество противофильтрационной завесы в гипсоносных породах (глава 5)

Основой для комплексной оценки влияния постинъекционных процессов на качество завесы и химическую устойчивость гипса явилось изучение закономерностей возникновения и развития техногенно-геохимических условий в основании Камской ГЭС после создания завесы. Исследование изменения геохимических параметров среды в районе завесы и возникающих при этом процессов показало, что постинъекционные процессы

приводят в увеличению суммарного объема твердой фазы в массиве, то есть можно ожидать изменения во времени фильтрационных параметров пород. В качестве количественного критерия суммарного результата всех постинъекционных процессов было выбрано изменение во времени коэффициентов фильтрации (K_f) пород, что характеризует как качество завесы, так и сохранность гипса.

Расчет K_f пород основания Камской ГЭС производился для двух этапов – первый (1965 и 1973 гг.) до – и второй (1978 и 1982 гг.) – после доуплотнения завесы ЩАС раствором. Это дало возможность оценить изменение фильтрационных параметров в период существования только цементационной завесы, после ее доуплотнения, а также под влиянием возникающих при этом постинъекционных процессов. Подбор K_f производился таким образом, чтобы значения расчетных напоров в соответствующих точках совпадали (с точностью 5 %) с данными натуральных наблюдений. Моделирование фильтрации выполнено на ЭВМ ЕС 1022 методом конечных элементов по программе, составленной на фортране С. Н. Емельяновым для расчета двумерной кусочно-однородной анизотропной стационарной фильтрации несжимаемой жидкости. Расчеты производились по разрезу, перпендикулярному оси плотины. Выбранная расчетная область разбивалась на 418 элементов треугольной формы.

Выполненный комплекс взаимосвязанных обратных расчетов и сопоставление их с данными натуральных гидрохимических и гидродинамических наблюдений позволили выявить следующие закономерности.

В период существования только цементационной завесы произошло увеличение K_f завесы в шешминском водоносном горизонте в 2 раза. В нижележащих водоносных горизонтах на данном участке завеса практически неэффективна. В 3,5 раза возросли K_f пород верхнесоликамского горизонта в зоне, примыкающей к завесе со стороны нижнего бьефа. Снижение качества завесы приводит к изменению гидродинамики потоков, снижению коэффициентов устойчивости плотины, снижению минерализации подземных вод и могло привести к растворению гипса.

После инъекции ЦАС раствора K_{ϕ} цементационной завесы в зоне мощностью 2 м снизились с 0,03 до 0,012 м/сут в шешминском с 0,19 до 0,002 м/сут в верхнесоликамском водоносных горизонтах (рис. 4). Повышение качества завесы обусловило существенный рост гашения напора на ней и устойчивости плотины на сдвиг.

В течение 4 лет после доуплотнения завесы в верхнесоликамском горизонте отмечено снижение почти в 2 раза K_{ϕ} завесы и пород в зоне мощностью около 5 м за ней (рис. 4). Уменьшение K_{ϕ} в этот период происходит вследствие рассмотренных постинъекционных процессов, ведущих к тампонированию остаточных трещин в теле завесы и за ее пределами. Доуплотнение завесы и последующее улучшение ее качества приводят к ряду положительных изменений: усиливается перетекание высокоминерализованных, неагрессивных к гипсу вод из нижнесоликамского горизонта; прекращается увеличение K_{ϕ} пород основания плотины; за счет постинъекционных процессов происходит рост во времени гашения напора на завесе на 6–7 % и повышение устойчивости плотины. Следует отметить, что постинъекционные процессы локализованы в теле завесы и зоне мощностью 5 м за ней. Это существенно меняет имевшиеся ранее представления о широкой области их распространения.

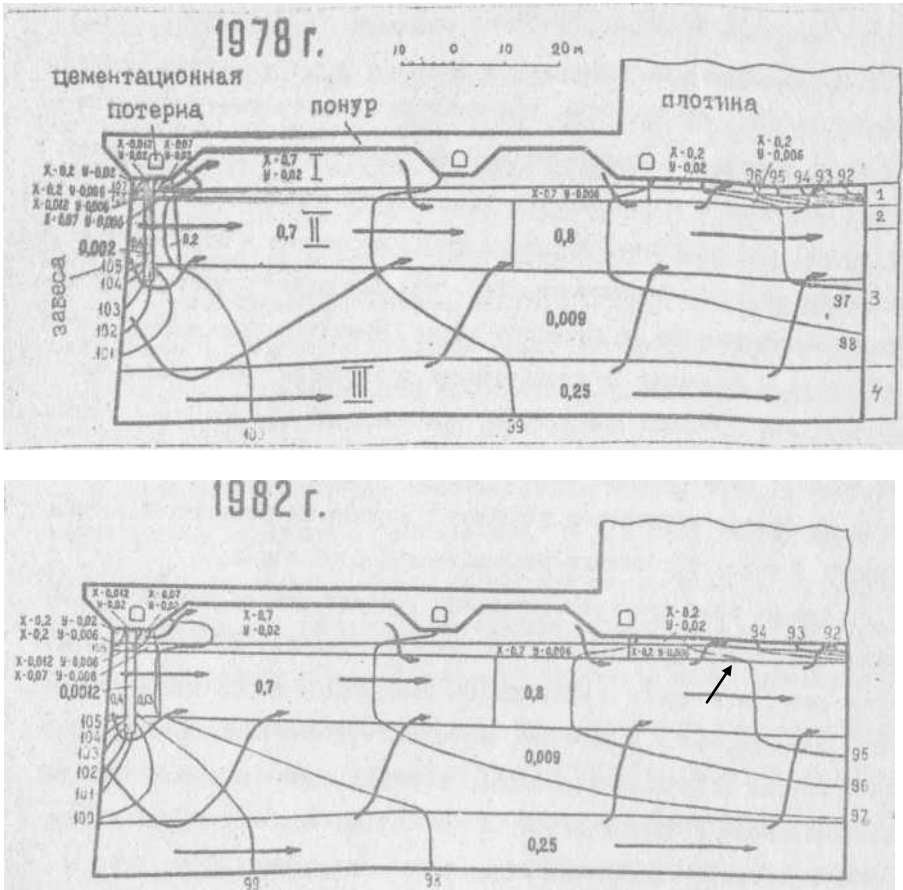


Рис. 4. Изменение фильтрационных параметров расчетной области в период после доуплотнения в 1978 г, завесы ЩАС раствором.

1 – аргиллиты, алевролиты (P_{2ss}), 2 – известняки, 3 – доломиты и мергели с прослоями гипса, 4 – доломиты (P_{2sl}); водоносные горизонты: I – шешмшский, II – верхнесоликамский, III – нижнесоликамский; коэффициенты фильтрации, м/сут: 0,7 – изотропных пород, X – 0,2 – в горизонтальном и Y – 0,02 – в вертикальном направлениях; 97— – линии равных напоров; – направление движения подземных вод.

ВЫВОДЫ

1. Инъекционное закрепление, получившее широкое распространение в промышленном, гражданском, гидротехническом строительстве и горном деле, приводит к изменению геохимической обстановки в закрепляемых массивах и возникновению химических и физико-химических процессов. Необходимость изучения таких процессов в период после окончания инъекции обусловлена тем, что они могут существенным образом воздействовать на свойства пород, изменить гидродинамическую обстановку и повлиять на устойчивость сооружения. Наибольшую актуальность эта проблема приобретает при создании противofильтрационных завес с целью защиты от растворения пород в основании плотин, когда требуется повышенное внимание к оценке их химической устойчивости в новой техногенно-геохимической обстановке.

2. Анализ инженерно-геологических условий района противofильтрационной завесы Камской ГЭС позволил, исходя из химической активности природной среда и материалов, внедренных в порода, а также типов массопереноса в массиве, выделить системы наиболее важные с точки зрения исследования постинъекционных процессов, влияющих на фильтрационные свойства пород. К таким системам относятся: инъекционный раствор – подземные вода, гель – подземные вода, гипс – постинъекционные растворы, гель – гипс. Исследованы механизм, физико-химическая сущность и направленность процессов в выделенных системах, что позволило оценить параметры техногенно-геохимической обстановки в массиве в целом.

3. На основании изучения особенностей миграции и осаждения кремнезема в природных условиях, проведенных лабораторных работ и анализа данных натурных наблюдений выявлены химические и физико-химические закономерности формирования состава техногенных подземных вод в районе завесы. Установлено, что щелочные кремнеземсодержащие растворы при смешивании с минерализованными подземными водами,

содержащими кальций и магний, нейтрализуются, в результате чего происходит осаждение кремнезема. Роль диффузионного выноса компонентов интермицеллярной жидкости (кремнезема, щелочи, оксалат-иона) из геля в формировании химического состава вод при наличии в них ионов кальция и магния крайне ограничена, так как эти ионы диффундируют в гель и переводят значительную часть указанных компонентов в твердую фазу внутри него. Показано, что подземные воды содержат кремнезем, щелочь, оксалат-ион в низких концентрациях и существуют короткое время в непосредственной близости от завесы. Осаждение этих компонентов ведет к дополнительному тампонажу пород.

4. Установлено, что при воздействии на гипс растворов, содержащих щелочь, кремнезем, оксалат-ион, на его поверхности образуются труднорастворимые химически устойчивые соединения – оксалаты и гидросиликаты кальция, что снижает в некоторой степени скорость растворения гипса. С помощью специально сконструированной фильтрационной установки показано, что в процессе взаимодействия в системе гипс – постинъекционные растворы происходит заполнение пустот в гипсе этими соединениями вследствие увеличения суммарного объема твердой фазы, то есть дополнительное тампонирование пород.

5. При взаимодействии геля с подземными водами вследствие диффузии ионов кальция и магния в интермицеллярное пространство происходит хемосорбция этих ионов на поверхности скелета геля и гелеобразование интермицеллярной жидкости. Впервые показано, что при контакте тампонажных гелей с подземными водами в гелях возможен рост кристаллов труднорастворимых соединений, соизмеримых с величиной раскрытия тампонируемых трещин, что позволяет говорить об их своеобразной локальной цементации. Указанные процессы ведут

к уплотнению геля, повышают его химическую устойчивость. Учитывая выявленный процесс формирования кристаллов, при разработке новых рецептур гелеобразующих растворов для тампонирования трещиноватых пород следует учитывать возможность подбора такого отвердителя, у которого компоненты, формирующие интермицеллярную жидкость, образовывали бы труднорастворимые соединения ври взаимодействии с компонентами подземных вод.

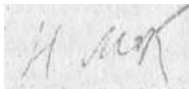
6. Формирование специфической техногенно-геохимической обстановки оказало влияние на фильтрационные параметры пород основания. Расчетом K_{ϕ} для различных периодов путем математического моделирования на ЭВМ методом конечных элементов установлено, что на исследованном участке до инъекции ЩАС раствора происходило увеличение K_{ϕ} цемзавесы и пород во времени. После доуплотнения завесы ее K_{ϕ} снизился в 2,5 раза в шешминском и почти в 100 раз в верхнесоликамском водоносных горизонтах. За 4 года после окончания инъекционных работ в верхнесоликамском горизонте, для которого характерны минерализованные воды и высокое содержание гипса, K_{ϕ} завесы и зоны мощностью 5 м за ней снизился в 2 раза. Это уменьшение проницаемости происходит за счет тампонирования остаточных трещин в теле завесы и за ее пределами вследствие рассмотренных постинъекционных процессов.

7. Постинъекционные процессы, возникающие при силикатизации водонасыщенных трещиноватых гипсоносных пород, обеспечивают сохранность гипса и эффективность завесы. Наблюдается тенденция к увеличению эффективности завесы во времени, что повышает надежность защиты гипса от растворения, ведет к повышению устойчивости плотины. Анализ воздействия инъекционного закрепления на геохимическую обстановку в массиве и результаты, достигнутые при создании завесы в основании Камской ГЭС, позволяют рекомендовать силикатные растворы для тампонирования гипсоносных пород в основаниях гидротехнических сооружений.

Основные положения диссертации освещены в следующих работах

1. Методика лабораторного исследования взаимодействия гипса с постинъекционными щелочными кремнеземсодержащими растворами. – В сб. Моделирование формирования суффозионных и карстовых полостей. Тез. докл. науч.-техн. семинара, Пермь, 1979., с.60–62.
2. Взаимодействие гипса с оксалатом натрия – компонентом постинъекционного раствора щавелевоалюмосиликатной рецептуры. – В сб.: Тр. конф. молодых ученых геол.ф-та Пермского ун-та. Депонировано в ВИНТИ 17 дек.1979. № 4281–79 Деп. с. 80–85.
3. Особенности лабораторных и полевых исследований при создании завес высокой плотности в скальных трещиноватых породах (на примере Камской ГЭС). – В сб.: Инженерная геология Западного Урала. Тез. док. науч.-техн. совещания. Пермь, 1980., с. 39–40, (с С. Н. Емельяновым, В. И. Сергеевым).
4. Химические противofiltrационные завесы в растворимых горных породах. – Там же, с. 40–42.
5. Устройство для непрерывного автоматического измерения и регистрации расходов жидкости при длительных процессах. – В сб.: Областная отчетная науч. конференция. Тез. докл. секции геолого-минералогич. наук, Пермь, 1980, с. 51, (с В. Л. Субботиним).
6. Некоторые особенности создания противofiltrационной химической завесы в гипсоносных породах основания Камской ГЭС. – В сб.: Карстовый процесс и его прогноз. Тез. докл. 3 Мажеведомств. совещ. Уфа, 1960, с. 116–117.
7. Гипсы и ангидриты в основании плотин. – В сб.: Геология Западно-Сибирской плиты и ее скального обрамления. Тез. докл. 2-ой годичной конф. Тюмень, 1960, с. 137–140, (с К. А. Горбуновой).
8. Исследование в динамических условиях взаимодействия постинъекционных продуктов с гипсами основания Камской ГЭС. – В сб.: Инженерная геология Западного Урала. Тез. докл. науч.-техн. совещ. Пермь, 1982, с. 90–91, (с В. И. Сергеевым).

9. Лабораторное исследование изменения состава подземных вод при взаимодействии с щавелевоалюмосиликатным гелем, – В сб.: Материалы IX научн. конф. ученых и аспирантов геол. ф-та МГУ. Грунтоведение и инженерная геология. М., 1982. (в печати).
10. Влияние химического инъекционного, закрепления на устойчивость гипса в основании гидротехнических сооружений, – Гидротехническое строительство, 1983, № 7 с. 30–32 (с В. И. Сергеевым).
11. Оценка эффективности работы противofильтрационной завесы высокой плотности методом конечных элементов. – В сб.: Применение математических методов и ЭВМ в геологии. Тез. докл. научного семинара, Новочеркасск, 1983, с. 72–73, (с С. Н. Емельяновым, В. И. Сергеевым).
12. Взаимодействие алюмосиликатных гелей с минерализованными подземными водами и его инженерно-геологическое значение. – Вестник Московского университета, сер. 4, геология, 1983, № 4 с. 78–87, (с С. Д. Воронкевичем).
13. Создание противofильтрационной завесы высокой плотности в гипсоносных карбонатных породах основания Камской ГЭС. – В сб.: Строительство на закарстованных территориях. Тез. докл. Всесоюзного совещания, М., 1983, с. 123–125 (с С. Д. Воронкевичем, Л. А. Евдокимовой, С. Н. Емельяновым, В. И. Сергеевым).
14. Основные закономерности постинъекционного взаимодействия силикатных растворов с подземными водами (в печати, ж. Инженерная геология с С. Д. Воронкевичем, Е. Н. Коломенским).
15. Types of karst water discharge in gypsum-anhydrite karst region Europ. regional conf. of speleology, Sofia, 1980, p. 34 (с К. А. Горбуновой).

A small, rectangular image of a handwritten signature in dark ink on a light background. The signature is cursive and appears to be the initials 'И. И. Сергеев'.

Л-74294. Подписано в печать 20.02.84. Тираж 100. Заказ 318.
Отпечатано на ротапринтере в институте «Гидропроект».