

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК АН УКРАИНЫ

На правах рукописи

КУЗЬМЕНКО ЭДУАРД ДМИТРИЕВИЧ

МЕТОДОЛОГИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕТЬ К ЭКСПЛУАТАЦИИ

Специальности: 04.00.06 - гидрогеология
04.00.12 - геофизические методы поисков
и разведки месторождений
полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Киев - 1994



00756412 (P)

лись.

Франковском институте нефти и
газа.

Официальные оппоненты:

1. Доктор геологических наук, профессор Язвин Л.С.
2. Доктор геолого-минералогических наук, профессор Колодий В.В.
3. Доктор геолого-минералогических наук, профессор Сапужак Я.С.

Ведущее предприятие: Государственный институт горно-химической промышленности (г.Львов).

Защита диссертации состоится "14" 06 1994 г.
на заседании специализированного ученого совета
Д 016.54.02 Института геологических наук АН Украины,
(52054, Киев-54, ул.Чкалова, 55-б).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
геологических наук АН Украины (252054, Киев-54,
ул. Чкалова, 55-б).

Автореферат разослан "12" 05 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета

Огняник Н.С.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Одной из важных задач подготовки месторождений рудного сырья для ввода их в эксплуатацию является изучение гидрогеологических условий. При этом непрерывно повышаются требования к достоверности и информативности представляемых результатов, что определяет необходимость совершенствования существующих и создания новых методов гидрогеологических исследований.

Самородная сера является одним из необходимых для народного хозяйства видов минерального сырья. В СССР до 1991 г. производство серы составляло около 5 млн. тонн. Во всем мире в это время добывалось до 60 млн. тонн. Более 50% приходилось на самородную серу, остальное получали из горючих полезных ископаемых и отходов металлургического производства. В 1990 г. дефицит серы в СССР составил 0.8 млн. тонн. В настоящее время в регионе стран СНГ поставщиками самородной серы являются Предкарпатский сероносный бассейн в Украине (80% добычи и до 90% разведанных запасов - более 100 млн. тонн) и Гаурдак-Кугитанский сероносный район (Туркменистан). Россия получает серу в основном за счет Астраханского и Оренбургского месторождений природного сероводородсодержащего газа. В последнее время добыча серы падает. В частности, в Предкарпатском бассейне она сократилась с 2.25 млн. т. в 1990 г. до 1.9 млн. т. в 1992 г. Дефицит серы только на Украине в 1992 г. составил 0.4 млн. т. и покрывался поставками из Польши.

Стабилизацию добычи серы и дальнейший рост ее хотя бы до прежних размеров прогнозировать трудно. Тем не менее основные рудники Украины работают и наращивают эксплуатационные площади в пределах своих горных отводов. Соответственно продолжают научно-исследовательские работы, обеспечивающие требуемый технологический уровень и рентабельность производства. Из семи месторождений, запасы которых были утверждены в ГКЗ СССР, четыре разрабатываются.

Специфика эксплуатации месторождений серы заключается в том, что большая часть их отрабатывается методом подземной выплавки серы (ПВС). Сущность метода заключается в нагревании в пласт через скважины горячей воды (теплоносителя), плавлении серы в рудном пласте и последующем извлечении жидкой серы на поверхность.

Успех такого метода добычи определяется в первую очередь гидрогеологическими условиями: степенью и характером проницаемости продуктивных горизонтов и наличием водоупоров в их кровле и под-

ше. Поэтому количественная оценка гидрогеологических условий серных месторождений является одним из определяющих факторов технологии.

Материалы детальной разведки месторождений самородной серы согласно действующей инструкции бывшей ГКЗ СССР представляются в масштабе 1:10000 (сеть гидрогеологических скважин 600*400 м). Масштаб подготовки месторождений к эксплуатации 1:2000 (сеть добывных скважин 40*40 м). Разрыв в масштабах и в сети очень велик. Необходимо или усиление гидрогеологических исследований в рамках детальной разведки, или промежуточная стадия гидрогеологической доразведки, включающая этап разработки дополнительного комплекса геологических и гидрогеологических исследований с целью выбора конкретных участков добычи, определения очередности их эксплуатации и обоснования технологической схемы отработки серных залежей.

В настоящее время резерв залежей с благоприятной геофильтрационной обстановкой для отработки исчерпан. В работу вовлекаются участки с низкой водопроницаемостью или практически непроницаемые. Поэтому при подготовке к эксплуатации залежи в ней создается искусственная техногенная проницаемость. Возникает задача предварительной оценки природной проницаемости с целью выбора режима интенсификационных воздействий на рудный пласт, а также задача контроля развития техногенной проницаемости.

При выплавке серы гидрогеологическая ситуация непрерывно меняется: развиваются новые проницаемые зоны, и поток теплоносителя меняет свое направление и интенсивность. Эти процессы нуждаются в непрерывном контроле с целью управления ими.

Гидрогеологические исследования при подготовке месторождений серы к эксплуатации в основном базируются на опытно-фильтрационных работах на одиночных скважинах и на исследовании разреза скважин по керновому материалу и геофизическим методам. При эксплуатации контролируются приемистость скважин, температурные поля, добыча. Этого недостаточно. Сложность гидрогеологической обстановки и специфика решаемых задач требует пространственной динамической оценки геофильтрационной ситуации: картирования водопроводимости в трехмерном пространстве, оценки направления и интенсивности фильтрационных потоков, регистрации напора подземных вод.

Отсюда следует вывод, что как при подготовке серных месторождений к эксплуатации, так и при ПВС требуется эвристическая методология исследований, включающая принципиально новый подход

комплексированию эффективных методов исследования, позволяющих оценить и контролировать природно-техногенную гидрогеологическую ситуацию с целью оптимального управления эксплуатацией. Разработка такой методологии как нового технологического направления в фильтрационной подготовке к эксплуатации серных месторождений представляет собой актуальную проблему, имеющую важное народно-хозяйственное значение.

Цель работы

Целью работы является разработка методологии изучения и оценки природно-техногенной геофильтрационной ситуации месторождений серы Предкарпатья для гидрогеологического обоснования их разработки методом подземной выплавки.

Основные задачи исследований

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

1. Разработка методики исследования природной геофильтрационной ситуации на стадии подготовки месторождений серы к эксплуатации.
2. Разработка методики оценки техногенных гидрогеологических условий.
3. Создание моделей пространственного распределения геофильтрационных характеристик серных месторождений в природных условиях и в эксплуатационный период.
4. Выработка рекомендаций по технологии эксплуатации руд методом ПВС на основе анализа геофильтрационной ситуации.

Методика исследований

Для решения поставленных задач выполнен комплекс теоретических, экспериментальных исследований и конструкторских разработок. В работе нашли применение современные достижения подземной гидродинамики, петрофизики, теории поля, наземной и скважинной геофизики и др. Широко использованы возможности вычислительной техники.

Основными составными частями выполненного комплекса исследований являются:

1. Гидрогеологическая характеристика месторождений серы и обзор существующих методов определения проницаемости горных пород при подготовке залежей к эксплуатации; обоснование задачи разработки методологии гидродинамических и геофизических исследований серных месторождений в задачах управления их эксплуатацией.
2. Исследование изменения петрофизических характеристик ге-

ных пород при выплавке из них серы, статистическая обработка данных петрофизических измерений и обоснование рационального комплекса исследований для оценки геофильтрационной ситуации.

3. Разработка комплекса наземных геофизических исследований с целью картирования водопроводимости горных пород в плане и изменения ее в процессе эксплуатации.

4. Разработка способа геофизического сопровождения бурения гидрогеологических скважин на базе исследования электрического поля в приустьевой зоне.

5. Экспериментальное обоснование модификации расходомерии скважин при импульсном возбуждении скважины и исследование вертикальной фильтрационной зональности продуктивного горизонта.

6. Аналитическое и экспериментальное обоснование модификации скважино-наземного варианта естественного поля для картирования фильтрационных потоков.

7. Разработка комплексного подхода к интерпретации геологических, гидрогеологических и геофизических данных и построение трехмерных моделей распределения геофильтрационных характеристик продуктивного горизонта в динамике их природно-техногенного развития.

Исходные материалы и личный вклад автора

Диссертация выполнена во время работы автора в Ивано-Франковском институте нефти и газа (ИФИНГ) в 1979-93 гг. Некоторые ее положения разработаны при выполнении хозяйственных и госбюджетных работ по темам: "Разработка методики изучения гидрогеологических условий Гримновского месторождения серы на базе исследования скважин методом расходомерии при восстановлении давления", "Изучение геологических и гидрогеологических условий месторождений серы в Предкарпатье геофизическими методами", "Разработка эффективной методики геофизического контроля эксплуатации скважин месторождений методом ПВС", "Разработка методики построения геофильтрационной модели в районе доломитных участков Загайпольского серного рудника", "Разработка метода и средств контроля технологических процессов и осложнений при бурении скважин на основе изучения геоэлектрических потенциалов", "Поисковые работы с целью выявления гидрогеологических структур" и др. Кроме того, для исследований привлекались первичные материалы ф. и доковых отчетов по результатам геологоразведочных работ ПО "За.здук.геология".

Специализированной геологоразведочной экспедиции.

Во время проведения тематических работ в ИФИНГ автор принимал в них участие в качестве научного руководителя или ответственного исполнителя. Отдельные разделы этих работ выполнялись совместно с сотрудниками кафедр полевой нефтегазовой геофизики и геофизических исследований скважин; чье участие в подготовке отчетов и соответствующих публикаций отражено в рамках соавторства.

Все научные положения, выдвигаемые на защиту, разработаны автором самостоятельно.

Научная ценность и новизна работы

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем.

1. предложена схема гидрогеологического районирования Предкаспатского сероносного бассейна, определено место каждой залежи серы в этой классификации.
2. Сформулированы методические задачи системного подхода к исследованию геофильтрационной ситуации как определяющего фактора эксплуатации серных месторождений.
3. Выявлены закономерности распределения петрофизических характеристик горных пород продуктивного горизонта, исследованы эмпирические связи физических свойств с гидрогеологическими параметрами, на базе чего обоснован комплекс методов исследования природно-техногенной гидрогеологической ситуации.
4. Предложена классификация видов водопроницаемости для количественной оценки развития природной и искусственной проницаемости горных пород, определен комплекс дистанционных методов для опережающего изучения коллекторов по этому параметру.
5. Разработана модификация расходометрии гидрогеологических скважин при импульсном возбуждении, выведены эмпирические формулы, составляющие основу интерпретации.
6. Предложена методика обобщенной интерпретации данных расходометрии. По данным полевых работ выполнен анализ вертикальной фильтрационной зональности продуктивного горизонта и созданы обобщенные фильтрационные схемы по эксплуатируемым месторождениям.
7. Установлена и обоснована возможность контроля технологических операций бурения гидрогеологических скважин и литолого-стратиграфического расчленения разреза при проходке скважин по наблюдениям электрического поля на поверхности земли. Разработан метод и средства контроля бурения на основании изучения геоэлектрических потенциалов.
8. Предложен и аналитически обоснован принципиально новый ме-

ханизм формирования фильтрационных электрических потенциалов, на базе чего разработана модификация метода естественного электрического поля для картирования фильтрационных потоков.

9. Предложен способ моделирования распределения геофильтрационных характеристик проницаемости в трехмерном пространстве на базе комплексной интерпретации гидрогеологических и геофизических данных. Обоснована возможность исследования динамики геофильтрационной ситуации в задачах управления эксплуатацией серных залежей.

Основные защищаемые положения

1. Схема гидрогеологического районирования Предкарпатского серносного бассейна.

При гидрогеологическом районировании ПСБ в развитие существующих региональных геологической и гидрогеологических схем проведена их детализация с выделением элементов более высокого порядка - геолого-структурных областей и соответствующих им гидродинамических зон. Эти области (зоны) увязаны по всем гидрогеологическим показателям, вследствие чего достигается единство системы районирования о принципе формирования подземных вод, в том числе по геогидродинамическому признаку, химическому составу и минерализации а также в градации по фильтрационным свойствам горных пород. Каждое месторождение самородной серы в соответствии с предложенной схемой районирования находит свое место в пределах выделенных геогидродинамических зон.

2. Классификация видов водопроводимости серных месторождений. Дифференцированный подход к определению понятия "водопроводимость" специфичен для месторождений с изменяющимися при эксплуатации фильтрационными характеристиками. Для месторождений серы целесообразно выделение следующих видов водопроводимости: природная; техногенная интенсификационная; прогнозная; техногенная водопроводимость выщавки. Сравнительный анализ условий формирования каждого вида водопроводимости и количественная оценка являются основой для разработки методики их определения на различных стадиях гидрогеологической подготовки серных залежей к эксплуатации. Прогнозная водопроводимость является наиболее эффективным параметром, характеризующим способность горных пород к образованию техногенной водопроводимости и реализации подземной выщавки.

3. Методика оценки природной, техногенной и прогнозной водопроводимости по площади геофизическими методами.

На основании исследования физико-геологических условий серных месторождений и анализа разрешающей способности геофизических

методов доказана целесообразность их применения для решения широкого круга разведочных и эксплуатационных гидрогеологических задач. В работе впервые выявлены закономерности в распределении петрофизических характеристик с учетом динамики их при выплавке и эмпирические связи физических свойств с гидрогеологическими фильтрационными параметрами пород серных месторождений. Это явилось основой оценки применимости различных геофизических методов и их комплекса по указанному направлению. Проведенными полевыми измерениями и модельными экспериментами доказана достаточная надежность полученных результатов. Обобщением проведенных исследований является разработанная методика картирования водопроницаемости по функции комплексного вероятностного показателя, предусматривающего интегральное использование различных геофизических, гидрогеологических и геологических методов.

4. Разработка модификации расходографии при импульсном возбуждении скважины. Методика оценки фильтрационных свойств месторождений серы в разрезе.

Способ расходографии при импульсном возбуждении, основанный на регистрации расхода воды в скважине при возбуждении ее одиночными импульсами давления, которые создаются нагнетанием воздуха, оптимален для исследования низкопроницаемых разрезов. Предложенное аналитическое обоснование метода и соответствующий интерпретационный аппарат позволяют определять абсолютные значения коэффициентов фильтрации и водопроницаемости по скважине с точностью, сопоставимой с одиночными откачками, а также строить профили распределения фильтрационных параметров по глубине исследуемого горизонта. Обобщенные фильтрационные схемы по эксплуатируемым месторождениям, построенные по данным полевых расходографических исследований, являются основой для количественной характеристики вертикальной фильтрационной зональности участков серных месторождений.

5. Методика картирования фильтрационных потоков в межскважинном пространстве на базе исследования фильтрационно-электрических потенциалов.

Фильтрационные потоки являются непосредственным источником электрического поля. Рассмотренный механизм образования этого поля связывается с существованием электрических потенциалов течения и механо-электрических потенциалов. Величина электрического потенциала и распределение его в пространстве функционально связаны с интенсивностью фильтрационных потоков и фильтрационными характеристиками пласта-коллектора. Предложенный скважино-наземный

ваг ан. измерений позволяет получить систему наблюдений на уровне исследуемого пласта независимо от глубины его залегания. Разработанная методика интерпретации дает возможность определения путей движения фильтрационных потоков и качественную характеристику их интенсивности, что подтверждено полевыми исследованиями.

6. Пространственное моделирование распределения гидрогеологических фильтрационных характеристик на месторождениях серы по комплексу геолого-гидрогеологических и геофизических данных.

Необходимыми исходными данными для построения трехмерных моделей являются: распределение водопроводимости по площади; геофильтрационные разрезы по скважинам; распределение фильтрационных электрических потенциалов в межскважинном пространстве. Особенность предлагаемого способа математического моделирования заключается в использовании принципиально нового комплекса прямых, функциональных и эмпирических методов, что повышает точность вычислений и достоверность результатов, а также в критериальном подходе к интерпретации вероятностно-статистических моделей. Схема решения предусматривает следующую последовательность: задание исходной модели трехмерного распределения коэффициента фильтрации; подсчет поля фильтрации в поле давлений; расчет поля фильтрационных электрических потенциалов по полю давлений; сравнение полученного поля потенциалов с наблюдаемым и перераспределение модели в случае недопустимо большого расхождения. Существование решения, его устойчивость и сходимость следуют из теории критериального подхода и доказаны численными экспериментами. Сходимость результатов моделирования с полевыми исследованиями удовлетворительная.

Пространственное моделирование распределения гидрогеологических характеристик является завершающим этапом в методологической схеме выполненных исследований.

Практическая значимость и реализация работы

С практической точки зрения результаты научных исследований реализованы при гидрогеологическом обосновании эксплуатации серных залежей ПСБ. Конкретно решены следующие задачи.

1. Прогнозирование нагнутых полей участков с благоприятными для эксплуатации фильтрационными характеристиками.
2. Изучение фильтрационной зональности в скважинах и составление вертикальных фильтрационных схем.
3. Оценка изменения геофильтрационных характеристик слабопроницаемых руд при интенсификационном воздействии на пласт (гидро-

разрывы, кислотные обработки).

4. Моделирование геофильтрационной ситуации в трехмерном пространстве для обоснования технологии отработки добычных участков.

5. Картирование техногенных потоков и характеристика динамики их развития во времени и в пространстве в процессе эксплуатации.

6. Оконтуривание выплавленных зон как участков повышенной проницаемости.

Результаты работ внедрены на всех разрабатываемых методом ПВС месторождениях самородной серы в Предкарпатье: Язовском, Немировском, Загайпольском. Предложенные научные разработки являются базой для создания новой технологии эксплуатации крупнейших забалансовых месторождений: Гримновского, Шевченковского, Великокаменецкого. При внедрении научных исследований в практику серодобывающих предприятий получен экономический эффект в размере 600 тыс.руб. (уровень цен 1990 г.).

Отдельные научные результаты внедрены в практику работ ПО "Севукргеология" (водоснабжение промузлов), ПО "Запукргеология" (разведка месторождений серы), ПО "Укрнефть" (интенсификация добычи нефти), Стебникского калийного завода (картирование соляного карста) и ряда других организаций.

А п р о б а ц и я р а б о т ы

Распространению информации и внедрению способствовала научная и методическая литература, содержащая результаты исследований автора в данном направлении и насчитывающая 68 наименований.

Основные положения диссертации рассматривались в ряде сообщений автора на следующих совещаниях международного, всесоюзного и республиканского уровней: Всесоюзный семинар-симпозиум "Бурение геотехнологических скважин" (Москва, ГИГХС, 1984), III конференция молодых ученых и специалистов института геологии и геохимии АН УССР (Львов, 1984), VIII Всесоюзный научно-технический семинар-совещание "Внедрение достижений научно-технического прогресса в практику геологических и маркшейдерских работ на предприятиях Минудобрений" (Ивано-Франковск, 1987), IX Всесоюзный научно-технический семинар-совещание "Геофизические методы в геологии, инженерной геологии и шахтной геологии" (Донецк, 1987), отраслевое совещание "Перспективы расширения сырьевой базы предприятий серной промышленности" (Колосыя, 1987), рес.обликанский научно-технический семинар "Применение геофизических методов при гидротехнологических, инженерно-геологических исследованиях и охране окружающей среды" (Симферополь, 1987), VII Международный конгресс по

маркшейдерскому делу (Ленинград, 1988), X Всесоюзный научно-технический семинар "Использование новых геофизических методов для решения инженерно-геологических задач" (ВСЕГИНГЕО, 1989), XIV Всесоюзный семинар "Моделирование развивающихся систем" (Киев, 1990), Всесоюзный научно-технический семинар "Использование геофизических методов для решения геэкологических, инженерно-геологических и гидрогеологических задач" (Ташкент, 1991), II и III Международные семинары "Прикладные проблемы моделирования и оптимизации" (Славское, 1992, 1993). Результаты работ докладывались на научно-технических семинарах в Польше (Тарнобжег, 1990 - Научно-исследовательский центр серной промышленности "Сяркополь"; Варшава, 1990 - Предприятие геофизических исследований).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, семи глав и заключения, изложенных в 299 страницах машинописного текста, 9 рисунков, 52 таблиц. Список использованной литературы насчитывает 349 наименований.

Автор считает своим долгом выразить признательность коллегам по научной тематике С.Г.Аникееву, Е.А.Лагрямян, А.М.Гайдину, С.М.Иваскину, С.А.Кириллову, Б.М.Маларчуку, Л.Б.Резниченко, А.В.Станкину, Ю.Ф.Филатову, А.Г.Хенегару за многолетнюю совместную работу над отчетами и статьями, а также профессорам И.М.Гершановичу, А.И.Кобрунову, Л.Я.Сайдаковскому, Б.Г.Тарасову, В.Н.Чубарову за научные консультации, поддержку и помощь.

Содержание работы далее излагается в соответствии с защищаемыми положениями.

1. СХЕМА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРЕДКАРПАТСКОГО СЕРОНОСНОГО БАСЕЙНА

Предкарпатский сероносный бассейн (ПСБ) занимает крайнюю северо-восточную часть Средиземноморской пролинии. Месторождения самородной серы Предкарпатья прослежены вдоль юго-западного края Восточно-Европейской платформы на территории Украины, Польши, Румынии. Сероносная полоса окаймляет Предкарпатский предгорный прогиб с севера, северо-востока и востока. Расстояние между крайними месторождениями достигает 1500 км. В пределах Украины располагаются центральная часть ПСБ.

Возможность эксплуатации месторождений серы способом подземной выплавки в Предкарпатья и технология вылавки обоснованы Б.Жакевичем в Польше и В.Ж.Авешесом в Украине. В нейтральных геологических

ческими и гидрогеологическими факторами, влияющими на ПСБ, являются: состав и строение серных руд, мощность рудного пласта, рельеф кровли и подошвы серной залежи; водопроницаемость рудных залежей и покрывающих и подстилающих их пород; характер границ водоносных горизонтов; пустотность, размеры пустот и их распространение по площади и в разрезе; химический состав подземных вод. В связи с этим первоочередной задачей гидрогеологической подготовки серных месторождений к эксплуатации является составление схемы гидрогеологического районирования ПСБ и определение места каждого месторождения в этой схеме.

К настоящему времени накоплен значительный опыт гидрогеологических работ на разных стадиях изучения серных месторождений. Результаты систематизированы в отчетах по поискам и разведке месторождений серы Львовской геологоразведочной экспедиции ПО "Запукргеология" (Ю.И.Ветров, В.И.Довган, Н.П.Козакова, В.Ф.Кулибаба, С.И.Лигуманов, И.В.Пасика, М.Ф.Суль, С.М.Шеденко и др.), в отчетах Ивано-Франковского ПО "Спецгеологоразведка" (В.М.Заярник, Я.Н.Иванишук, А.Д.Кузьменко, Л.Н.Мальцева, Л.Б.Резниченко и др.). Обобщения по вопросам гидрогеологии приведены в ряде монографий, обзоров, диссертаций, статей (И.И.Алексенко, В.Ж.Аренс, Ю.С.Бут, А.М.Гайдин, В.М.Заярник, Я.Н.Иванишук, С.М.Ивасив, Т.Ф.Новикова, В.П.Федосеев).

Осадочный чехол ПСБ сложен мощной толщей отложений протерозойской, палеозойской, мезозойской и кайнозойской групп. Строгой стратиграфической приуроченности серной минерализации не наблюдается. Она встречается везде, где в разрезах осадочных комплексов имеются сульфаты. Но все серные месторождения генетически и пространственно связаны с гипсовангидритовым горизонтом тортонского яруса неогена, а также со скоплениями углеводородов. Серное оруденение приурочено к известнякам тортона и характеризуется метасоматическим замещением сульфатной толщи серными рудами. Покрывающими породами являются мощные (до 200 м) водоупорные глины, отделяющие известняки от четвертичных образований, а подстилающими - гипсовангидриты мощностью до нескольких десятков метров. Мощность рудных известняков колеблется от 0 до 30 м.

Гидрогеологические условия ПСБ предопределены геологическим и структурно-тектоническим строением, формирующим его как моноклиналичную структуру, постепенно погружающуюся в юго-западном направлении от возвышенности Восточно-Европейской платформы в сторону Предкарпатского краевого прогиба. В соответствии с региональным

гидрогеологическим районированием территории Украины ПСБ занимает юго-западную часть Вольно-Подольского артезианского бассейна и находится в пограничной зоне платформы с Предкарпатским прогибом (А.Е.Бабинец, В.М.Шестопапов).

До настоящего времени не существовало обоснованной схемы гидрогеологического районирования ПСБ, полностью увязывающей геолого-структурное строение территории с различными гидрогеологическими его особенностями: условиями формирования подземных вод, с гидродинамической их зональностью, с коллекторскими и гидрохимическими свойствами. Существующие схемы гидрогеологического районирования или носят слишком общий характер (северо-западная и юго-восточная зоны), или классифицируют бассейн по отдельным гидрогеологическим признакам (И.А.Алексенко, Ю.С.Бут, Ф.В.Кулибаба, В.П.Федосеев). В силу этого отсутствует единство в районировании гидрогеологических областей (зон) по принципу формирования подземных вод, геолого-структурному, гидродинамическому и гидрохимическому признаку, хотя по каждому отдельно взятому признаку (или по паре коррелирующих признаков) районирование проведено субъективно верно. Тогда в одну и ту же зону попадают месторождения и залежи с различными гидрогеологическими характеристиками и появляются неизбежные исключения из правил.

Нам представляется наиболее обоснованным гидрогеологическое районирование в соответствии с геолого-структурными особенностями строения территорий. Тогда в региональном плане с северо-востока на юго-запад выделяются гидрогеологические зоны I порядка, увязываемые с областью питания, транзита, разгрузки и подчиняющиеся соответствующей гидродинамической и гидрохимической зональности (табл.1). ПСБ в гидродинамическом плане I порядка относится к зоне замедленного водообмена (И.И.Алексенко). В его пределах отмечается резкая гидрогеологическая неоднородность территории, что следует увязывать с конкретным геологическим строением, то есть с несистематизированными до сих пор причинами. Нами предлагается выделение в пределах ПСБ четырех геолого-структурных областей и соответствующих им гидродинамических зон II порядка, связываемых с областью незначительно замедленного водообмена (собственно платформа), замедленного водообмена в гидрогеологически открытых структурах (слабо (моноклинально) погруженная часть платформы), замедленного водообмена в гидрогеологически закрытых структурах (слабо (обросово) погруженная часть платформы), крайне замедленного водообмена (глубоко (обро-

сово) погруженная часть платформы). С этой схемой хорошо согласуется классификация по химическому типу и минерализации подземных вод, а также градация по коэффициенту фильтрации и водопроницаемости. При такой классификации нет ни противоречий, ни исключений из правил при полном единстве и взаимосвязи различных классификационных признаков. Это подтверждается размещением каждого из известных серных месторождений в пределах одной или нескольких (максимум трех) геогидродинамических зон II порядка (табл.2). В последнем случае по зонам районированы отдельные залежи месторождений.

Месторождения (залежи), расположенные в пределах первых двух зон II порядка, предназначены в основном для отработки открытым способом, а месторождения (залежи), расположенные в третьей-четвертой зонах, предназначены для отработки методом ПВС. Тогда каждое вновь открытое месторождение (или залежь) найдет свое место в классификации с соответствующим определением перспектив его разработки.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ВОДОПРОВОДИМОСТИ СЕРНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

В последовательности оценки фильтрационных свойств серных залежей очевидны пробелы, связанные как с недостаточным объемом гидрогеологических исследований, так и с несовершенной их методикой. В этой связи в процессе исследований нами решены следующие задачи.

1. Анализ изученности степени влияния геолого-гидрогеологических факторов на показатели выплавки.
2. Анализ сети наблюдений и методики изучения фильтрационных свойств серных залежей на различных стадиях подготовки месторождений к эксплуатации.
3. Классификация видов водопроницаемости серных залежей. Выбор гидрогеологического параметра, отвечающего за успех ПВС.

Часть этих вопросов (связь физико-геологических параметров и выплавки, анализ сетей бурения) изучалась ранее в различных приложениях (С.И. Бала, Л.П. Зелепухин, Л.В. Резниченко). В аспекте гидрогеологических исследований свое завершение они получили в данной работе. Классификация видов водопроницаемости и вытекающие из нее вопросы постадийного комплексного изучения фильтрационных свойств рассмотрены впервые.

Необходимость определения факторов, лежащих в основе геолог.

технологического прогнозирования, их классификация и выяснение влияния на извлечение серы из руды очевидны. Из их анализа следует, что с гидрогеологической точки зрения ни одна из существующих классификаций не отвергает фактора проницаемости в качестве решающего. Вместе с тем выясняются существенные недостатки в подходе оценки этого фактора. Во-первых, не учитывается (в лучшем случае упоминается или исследуется фрагментарно) его природно-технологический характер, во-вторых, не учтена в полной мере необходимость дифференциального подхода к его изучению на стадии подготовки месторождений к эксплуатации, в-третьих, методика его изучения замыкается на исследованиях скважин. Вместе с тем, Л.Б.Резниченко показал, что существующей сети детальной разведки и эксплуатационного бурения недостаточно для достоверной оценки геолого-гидрогеологических характеристик залежей. Этот недостаток можно устранить дифференцированным подходом к исследованию разных видов водопроницаемости, позволяющим расширить комплекс методов ее изучения и разработать оптимальную методику изучения этого параметра.

Нами выделены следующие виды водопроницаемости: 1) природная; 2) техногенная интенсификационная; 3) прогнозная; 4) техногенная водопроницаемость выплавки.

Природная водопроницаемость обусловлена естественными коллекторскими свойствами вмещающих серу пород. Эти свойства формируются при образовании серных залежей (водопроницаемость генезиса), при пострудных тектонических проявлениях (тектоническая водопроницаемость), при окислении серы (рудный карст), при выщелачивании вмещающих пород (карбонатный карст). В диссертации установлена причинно-следственная связь и проведена количественная оценка факторов, определяющих различные виды природной водопроницаемости.

Техногенная интенсификационная водопроницаемость создается путем гидроразрыва и одной или нескольких кислотных оброек пласта на участках с низкими фильтрационными свойствами с целью доведения последних до кондиционных величин, соответствующих технологии ПВС. Однако итоговая карта интенсификационной водопроницаемости не отражает фильтрационных свойств, на которые можно было бы ориентироваться при выборе участка для эксплуатации. Во-первых, эта карта получена слишком поздно, когда участок уже обустроен и выполнены горные подготовительные работы. Во-вторых, значения ($k_{\text{инт}}$) получены вследствие несопоставимых операций, то есть по-

ле различного (для разных скважин) числа интенсификационных воздействий.

Работами В.М.Звярянюка, Я.И.Иванищука и А.Д.Кузьменко доказано, что техногенная интенсификационная водопроницаемость на качественном уровне может контролироваться изучаемым по керну параметром макропустотности. Субъективизм такой характеристики связан с известной непредставительностью керна материала, с визуальной его оценкой, а также ограниченностью объема керна или полным отсутствием его при бескерновом бурении. Для более объективного прогноза развития $(k_{\text{м}})_{\text{инт}}$ нами введено совершенно новое в практике гидрогеологических работ на серных месторождениях понятие прогнозной водопроницаемости.

Прогнозную водопроницаемость определим из следующих рассуждений. Слабопроницаемые или практически непроницаемые породы продуктивного горизонта имеют начальную (природную) несвязанную макропустотность и микротрещиноватость. При интенсификационных работах происходит образование и развитие трещин гидроразрыва в основном по системе микротрещин, при этом связываются природные макропустоты. Поэтому интенсификационная водопроницаемость и коррелирует с макропустотностью. Будем рассматривать прогнозную водопроницаемость как гипотетическую водопроницаемость, создаваемую при одинаковом интенсификационном воздействии. Можно в качестве такого воздействия рассматривать единичный (первый) гидроразрыв. Чем больше количество гидроразрывов или кислотных обработок на скважине (в практике их число обычно не превышает четырех), тем больше изменяется (увеличивается) значение техногенной водопроницаемости. Тогда прогнозная водопроницаемость определяется как функция от числа гидроразрывов и кислотных обработок и обеспеченной ими техногенной водопроницаемости:

$$(k_{\text{м}})_{\text{прогн}} = \alpha (k_{\text{м}})_{\text{инт}}, \quad (2.1)$$

$$\alpha = f\left(\frac{1}{n}\right), \quad (2.2)$$

где n - число интенсификационных воздействий на пласт.

Прогнозная водопроницаемость характеризует способность пород к созданию техногенной интенсификационной водопроницаемости и определяется всеми видами пустот в породе - как связанными, так и перспективными для связки в результате интенсификационных воздействий. С точки зрения связи (ультрационных свойств и пористости можно условно трактовать так: если природная водопроницаемость определяется динамической пористостью, то прогнозная - общей.

Определение $km_{\text{прогн}}$ до начала подготовительных работ позволяет ответить на такие вопросы: 1) возможно ли в принципе доведение участка ПВС до кондиции с точки зрения создания искусственной водопроводимости; 2) какой объем интенсификационных работ для этого необходим. При высокой проницаемости серных руд (30–40 м²/сут и более) гидроразрывы и кислотные обработки неэффективны, тогда прогнозная водопроводимость тяготеет к природной. В условиях низкопроницаемых руд при отсутствии слепых макропустот и микротрещиноватости работы будут неэффективны, и участок для ПВС неперспективен. При $(km)_{\text{прогн}} > 0$ (первые единицы м²/сут) число необходимых интенсификационных воздействий $n = (km)_{\text{инт}}^{\text{min}} / (km)_{\text{прогн}}^{\text{min}}$, где $(km)_{\text{инт}}^{\text{min}}$ — минимально необходимая для успеха ПВС интенсификационная водопроводимость.

Техногенная водопроводимость выплавки своим начальным значением имеет интенсификационную водопроводимость. Далее, при выплавке она непрерывно меняется. Нами систематизированы и количественно оценены факторы, определяющие водопроводимость выплавки, и предложена схема гидрогеологической зональности, соответствующая различным стадиям процесса. При этом использованы работы В.Ж.Аренса, А.М.Гайдина, С.М.Ивасива, А.Михальски, Т.Ф.Новиковой, В.Ф.Реутского. Установлено, что водопроводимость выплавки зависит от ряда природных и техногенных факторов, от времени проведения исследования по отношению к началу ПВС, от геометрии техногенных подзон собственно выплавки, кольматации и серонасыщения, которые развиваются на следующих последовательных стадиях выплавки: формирование воронок выплавки, формирование субгоризонтальных проплавленных полей, развитие субгоризонтальных соединительных каналов, развитие интенсификационных каналов, плавление остаточных целиков. К факторам, повышающим водопроводимость выплавки, относятся следующие: выплавка, сопровождающаяся выносом серы; повышение температуры теплоносителя; вынос серы одной емкостью; обрушение пород. Факторы, понижающие водопроводимость выплавки: кольматация проплавленных зон частицами выщелачиваемых пород; образование прискважинных кольматационных воронок, кольматация серой; образование воронок и плоскостей серонасыщения; уменьшение мощности проницаемых зон.

Водопроводимость выплавки определяет динамику приемистости действующих и вновь вводимых в эксплуатацию скважин. Не менее важной является эмертизация выплавленных зон как участков повышенной проницаемости при подготовке техногенных залежей к ре-

плуатации.

3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРИРОДНОЙ, ТЕХНОГЕННОЙ И ПРОГНОЗНОЙ ВОДОПРОВОДИМОСТИ ПО ПЛОЩАДИ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Задачу пространственного изучения фильтрационных свойств серных руд с учетом их природно-техногенного характера будем решать в следующей последовательности: оценка фильтрационных свойств по площади, в разрезе скважин, в межскважинном пространстве и как итог - трехмерное картирование фильтрационных полей.

Общепринятая методика площадного определения водопроводимости путем проведения опытно-фильтрационных работ в скважинах неудовлетворительна в силу дискретного характера, редкой сети наблюдений и отсутствия фактора опережения изучения гидрогеологических свойств перед бурением. С целью выяснения возможностей привлечения новых методов оценки фильтрационных характеристик горных пород рассмотрена связь с фильтрационными свойствами следующих параметров: пористость, трещиноватость, макропустотность. Учтено, что все они прямо и опосредованно отражаются в геофизических полях: электрическом, силы тяжести, упругих волн (В.Н.Дахнов, В.Н.Кобранова, Э.И.Пархоменко).

Исходными данными для петрофизических исследований являются результаты лабораторных испытаний образцов горных пород, данные описания керна, каротажные кривые, результаты опытно-фильтрационных работ (лабораторные испытания и личная обработка данных проведены Е.А.Баграмян). Исследуемые параметры разбиты на три группы: фильтрационные (коэффициент фильтрации k_f , коэффициент водопроводимости k_p , проницаемость $k_{пр}$); емкостные (макропустотность Q , трещиноватость T , пористость k_{II}); геофизические (плотность δ , скорость упругих волн V , электрическое сопротивление ρ , диэлектрическая проницаемость ϵ). При проверке гипотезы о выбранном теоретическом законе распределения по критерию согласия использованы три закона: нормальный, логнормальный, Марье. Установлено, что в силу однотипности распределений (обязательное подчинение одному или двум, или трем, но всегда - логнормальному закону) петрофизические характеристики пригодны для корреляционно-регрессионного анализа. Дополнительный итог анализа законов распределения: вывод о формировании коллекторских свойств горных пород как результата произведения нескольких воздействующих факторов (следствием из логнормального закона распределения).

С целью выяснения характера техногенных изменений петрофизических характеристик рудной толщи для группы образцов определены физические свойства до и после выплавки в лаборатории из них слитков. Вывод: изменение проницаемости при выплавке весьма существенно, и это изменение должно находить отражение в поле упругих волн, в гравитационном и электрическом поле.

Корреляционно-регрессионный анализ выполнен с целью количественной оценки тесноты корреляционных связей между петрофизическими параметрами по участкам Немировского и Загайпольского месторождений серы. Известно, что такой анализ нередко являлся интерпретационной основой гидрогеологических исследований (Д.И. Галин, И.М. Гершанович, И.И. Гринбаум, И.М. Мелькановицкий, В.А. Ряполова, А.П. Стародубова, Р.И. Шечкус и др.). Анализ полученных уравнений регрессии и величин коэффициентов корреляции показывает: 1) функции регрессии имеют вид прямых, обратных, логарифмических, степенных, экспоненциальных; 2) вид уравнений регрессии для одних и тех же параметров на разных участках не совпадает; 3) между величинами физических параметров наблюдаются в основном слабые и неустойчивые парные корреляционные связи.

Субъективной причиной слабой корреляции является различная методика определения петрофизических параметров, объективной — петрофизическая неоднородность участков исследований. Следовательно, по полученным парным связям не представляется возможным получать достоверную геолого-гидрогеологическую характеристику залежей на основании отдельных методов изучения керна или геофизических методов.

Нами предложен принципиально новый подход к обработке результатов измерений. Идея заключается в том, чтобы коррелировать не отдельные опыты, а сленки матожиданий, то есть средние параметры по выделенным в пределах месторождений (или залежей) сравнительно однородным по искомому параметру участкам. Таким искомым параметром в данном случае является водопроводимость. Критерием однородности участка является существенность средней в его пределах (по Стьюденту). Корреляционные поля в соответствии с изложенной идеей построены для величин km и Q , q , V , δ , ρ , ϵ , k_{II} (q — удельный дебит) для различных участков и залежей Немировского и Загайпольского месторождений. Коэффициент корреляции достаточно высок (0.77 — 0.99), а линии регрессии носят уверенный линейный характер. Отсюда следует возможность картирования поля водопроводимости по геофизическим полям. Размер участка определяется с

представительностью в выборке (на стадии проведенного анализа - числом скважин). Тогда в соответствии с принципами статистики малых выборок участок должен содержать 20-30 скважин, то есть при сети бурения 40×40 м иметь размеры порядка 200×200 м. Это условие отвечает требованиям технологии о деятельности работ в соответствии с принятой в настоящее время блочной системой обработки залежей (С.И.Бала, С.М.Израев) и разрешающей способности геофизических методов.

В соответствии с результатами петрофизических исследований проведена оценка возможностей наземных геофизических методов - электроразведки, сейсморазведки, гравиразведки - для решения гидрогеологической задачи площадного картирования водопродуцтивности продуктивного горизонта.

Опыт электроразведочных работ накоплен при поисках и разведке месторождений самородной серы (Г.П.Поморцев, Т.П.Поморцева, Я.С.Сапушкин). Анализ этих работ показал перспективность их применения по параметрам электрического сопротивления, продольной проводимости и поляризуемости для решения задач картирования горных пород по проницаемости в пределах серных месторождений.

С целью выяснения возможностей сейсморазведки нами сформулирована задача моделирования волнового поля применительно к условиям Немировского месторождения, которая решена Ю.В.Филатовым. Предложенный алгоритм моделирования, в отличие от стандартных (В.Г.Баранов, Т.С.Кюнец, Г.Н.Гогоненков), учитывает как поглощение упругих волн, так и кратность отражений.

В соответствии с результатами моделирования нами определены критерии интерпретации сейсморазведки по отношению амплитуд отражений, полученных от продуктивного горизонта, и опорных сигналов. Указанные критерии использованы при интерпретации динамических разрезов общего пункта взрыва на Немировском месторождении. Повышение относительных амплитуд означно связано с развитием зон техногенной водопродуцтивности выщелачивания.

В качестве дополнительного критерия картирования разуплотненных зон С.А.Кирилловым предложен амплитудный коэффициент корреляции, равный произведению коэффициента корреляции на амплитуду сигнала в соответствующей точке. Коэффициент корреляции в данном случае характеризует изменение формы сейсмического сигнала вдоль отраженной продуктивным горизонтом волны по отношению к опорному (вспомогательному) сигналу первой волны. Выполненная нами гидрогеологическая интерпретация опытных сейсмических работ

качественном уровне, для удовлетворительные результаты: повышение амплитудного коэффициента корреляции соответствует участкам повышенной водопроницаемости. Разрешающая способность сейсморазведки по размеру профильных аномалий порядка 70-100 м.

Для выяснения возможностей гравиразведки необходимо моделирование поля силы тяжести по геоплотностной модели (С.С.Красовский, В.И.Старостенко, В.И.Страхов). Процесс моделирования выполнен по следующему принципу. Вначале заданы неоднородности сравнительно небольших размеров, оценен аномальный эффект по прямой задаче и восстановлены плотностные границы по обратной. Затем, с увеличением размеров моделей, оценена разрешающая способность гравиразведки с учетом возможной точности съемки. Надежность обнаруженных аномалий просчитана по критерию максимального правдоподобия (А.А.Никитин). В итоге моделирования показана возможность картирования пород по плотности и соответственно по проницаемости на месторождениях серы.

Как для моделирования, так и далее для интерпретации гравиразведки выбраны программные комплексы "Поля-3" и "Масса-3", составляющие разделы разработанной под руководством А.И.Кобрунова автоматизированной системы интерпретации гравиметрических материалов "Карпаты", предлагающей, по нашему мнению, одну из наиболее обоснованных методик интерпретации данных гравиметрии в классе распределения масс.

Возможности гравиразведки реализованы на Немировском и Загайпольском месторождениях серы. Итогом интерпретации является распределение плотностей горных пород в трехмерном пространстве. Разрезы и карты плотности по уравнениям регрессии пересчитаны в карты водопроницаемости и разрезы коэффициента фильтрации при минимальных размерах картируемых блоков 40 - 80 м.

Таким образом, в многообразия методов и методик полевой геофизики (в частности, сейсморазведки и гравиразведки) математическим моделированием и полевыми экспериментами обоснован выбор конкретных алгоритмов обработки, которые легли в основу интерпретационного аппарата картирования горных пород по фильтрационным характеристикам. Очевидно, что применение указанных методов позволяет дать сравнительную характеристику прогнозной водопроницаемости на участках, готовящихся к эксплуатации. На участках эксплуатации полевые геофизические методы картируют водопроницаемость выщелачивки.

Возможности сейсморазведки ограничены ее реческой стоимостью. Интерпретация же гравиразведки требует априорного знания, литоло-

гии разреза, а эта информация становится все более приближенной при разрежении сети бурения. Поэтому нами разработана и опробована методика оценки прогнозной водопроницаемости по материалам комплексных исследований (совместно с С.Г. Бабюком и А.Г. Хенегаром). При интерпретации использован интегральный способ расчета функции комплексного показателя (ФКП), реализованный ранее Г.С. Вахромеевым для поисков рудных месторождений. В качестве исходных рассмотрены геолого-геофизические параметры, которые в той или иной степени определяют фильтрационные свойства пород. По физическому содержанию эти параметры разделены на две группы: 1) объемные параметры, полученные в результате изучения потенциальных полей, — k_{II} , ρ , km , δ , V , потенциал естественного поля U , ускорения силы тяжести Ag ; 2) дискретные параметры Q и T , полученные по данным описания керна, а также ρ' , δ' , V' — результаты лабораторных определений.

Функцию комплексного показателя можно представить в интегральной форме в виде суммы θ в каждой точке измерения перечисленных параметров:

$$\theta = \sum_{i=1}^P \gamma_{1i} - \sum_{m=1}^K \gamma_{1m} \quad (3.1)$$

где P и K — количество параметров (модов), которые дают соответственно положительный и отрицательный эффект над аномальным объектом (повышенной водопроницаемостью); γ_{1j} — контрастность — разность сигнала в i -ой точке по j -му методу и его среднего значения, нормированная по стандарту σ_j .

Следовательно, в первой сумме ($j=1$) представлены трещиноватость, пористость, макропустотность, поле электрического потенциала, во второй ($j=m$) — поле силы тяжести, плотность, электрическое сопротивление, скорость распространения упругих волн. Количественно связь величины θ с водопроницаемостью оценивается с помощью вероятностного критерия $\sigma = \theta_1 / \sigma_\theta$, где $\sigma_\theta = (P + K)^{1/2}$ — сигмный предел, учитывающий дисперсию параметров. Вероятность связи величин θ с водопроницаемостью x характеризуется следующими значениями: при 1σ $P=0.6827$, при 2σ $P=0.9545$, при 3σ $P=0.9973$.

Предложенная методика оценки прогнозной водопроницаемости реализована на Немировском месторождении. Исследования показали, что информативной является только карта σ , построенная с учетом группы объемных параметров. Здесь участки повышенных значений θ , ограниченные изолиниями $(1 + 3)\sigma$, удовлетворительно коррелируют участками повышенной водопроницаемости. Включение керновых дан-

ных в параметр ФКП ух, дшает корреляцию с k_m , то есть керновые данные являются непредставительными. Причина - их дискретный характер, из чего следует их вероятностная несовместимость с параметрами потенциальных полей.

ачет ФКП целесообразен на стадиях доразведки, эксплуатационной разведки, горно-промышленного строительства. При этом к комплексу наземной геофизики последовательно, со сгущением сети бурения, подключаются каротажные методы. В то же время основой комплексов остаются результаты прямых гидрогеологических исследований (опытных откачек), с привлечением которых корректируются корреляционные связи геофизических и фильтрационных полей на новых площадях. На Немировском и Загипольском месторождениях предложенная методика оценки природно-техногенной водопроводимости позволила решать следующие (по этапам) задачи:

1. Доразведка. Выбор участков добычного поля, обладающих наибольшей проницаемостью, для эксплуатации.

2. Эксплуатационная разведка. Уточнение контуров эксплуатационных блоков и проектирование технологии и порядка ввода их в эксплуатацию.

3. Горно-промышленное строительство. Проектирование технологии интенсификационных работ и ПВС.

4. Реексплуатация. Геометризация остаточных запасов, подготовка исходных данных для проектирования повторной выщавки.

4. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЫ В РАЗРЕЗЕ. РАЗРАБОТКА МОДИФИКАЦИИ РАСХОДОМЕТРИИ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ СКВАЖИНЫ

Необходимым этапом подготовки залежей серы к эксплуатации является количественная оценка фильтрационных свойств горных пород по профилю скважин. Непосредственным итогом такой оценки является проектирование эксплуатации с учетом конкретных данных о возможных путях движения теплоносителя и обоснование подготовительных работ. Технологические решения наиболее достоверны, если профиль проницаемости, в ряду с данными оценки водопроводимости по площади, используется для построения трехмерных геофильтрационных моделей.

Единственным прямым методом исследования в допроницаемости скважину является расходометрический каротаж. Анализ при-

менности для этих целей других каротажных методов (С.В.Колодий, И.П.Гафич), а также способов оценки проницаемости по керну (В.М.Заярнюк), приводит к выводу об отсутствии равноценной по разрешающей способности расходомерии методов.

Применительно к условиям серных месторождений нами разработан способ расходомерии при импульсном возбуждении скважины (вопросы техники работ на скважине разработаны совместно с Я.И.Иванищюком). Преимущества способа по сравнению с известными модификациями расходомерии при откачке или наливе заключаются в повышенной разрешающей способности для низкопроницаемых разрезов, снижении затрат на оборудование скважин, исключении загрязнения окружающей среды пластовыми водами. Способ основан на регистрации расхода воды в скважине с помощью глубинного расходомера при возбуждении ее одиночными импульсами давления, которые создаются нагнетанием воздуха. Регистрацию производят при восстановлении давления.

Методика определения гидрогеологических параметров при импульсном возбуждении скважины в последнее время развивается также за рубежом (В.И.Башмаков, С.Ф.Григоренко, И.Краус, Г.Купер и др.). На основании теоретического анализа возможных режимов движения уровня воды в скважине указанными исследователями предложены численные решения уравнений колебания уровня относительно коэффициентов водопроводимости и пьезопроводности. Однако по колебаниям уровня послойная дифференциация разреза по проницаемости невозможна.

Нами предложен иной подход к исследованию поставленной задачи и получено решение, реализация которого дает удовлетворительные результаты в части оценки фильтрационных свойств в разрезе. В качестве теоретической базы использовано решение уравнения Фурье при соответствующих граничных условиях (С.Н.Бузинов, И.Д.Умрихин), теория гармонических колебаний из аппарата теоретической механики (Н.В.Бухгольц, Г.Кузлинг), расчет экспресс-налива для определения фильтрационных характеристик (В.М.Шестаков, И.П.Кравченко, И.С.Пекосовский).

Рабочая гипотеза предусматривает следующую постановку задачи. Возбуждение скважины точным импульсом давления происходит не мгновенно, а за какое-то конечное время. Система горная порода - пласт не является абсолютно упругим телом во всем своем объеме, подчиняющимся закону Гука. Поэтому только часть энергии приложенного давления расходуется на образование упругой гидроволны, вызывающей колебательный процесс. Остальная часть энергии

тратится на преодоление сил трения проницаемых пород в соответствии с приложенным напором, то есть в условиях применимости закона Дарси. Тогда восстановление уровня происходит по экспоненциальному закону. Но один и тот же объем жидкости не может одновременно формировать два различных режима изменения расхода, следовательно, одна часть объема жидкости формирует колебательный, а другая - экспоненциальный режим расхода. Таким образом, изменения расхода во времени t можно записать

$$q(t) = q_1(t) + q_2(t), \quad (4.1)$$

где $q_1(t)$ - функция затухающих свободных колебаний; $q_2(t)$ - экспоненциальная функция.

Отсюда следует еще один важный вывод: величина водопроницаемости в первом и втором слагаемом будет различной, в зависимости от природы водопроницаемости, то есть $q_1(t) = \psi((km)_1, t)$, а $q_2(t) = \psi((km)_2, t)$. Для трещинно-карстовых пород описанная система, вероятно, наиболее близка к модели с двойной природой пористости (Б.В.Боревский, Б.Г.Самсонов, Л.С.Язвин): макротрещины в основном определяют величину $(km)_1$, а пустоты второго порядка - $(km)_2$.

Рабочая формула, связывающая расход и давление, с учетом варьирования водопроницаемости, выглядит следующим образом:

$$q(t) = \frac{\Delta P}{\rho g} \frac{4\pi(km)}{\ln \frac{1.26\chi}{r^2\omega}} \cos\alpha \sin(\omega t + \alpha) e^{-\beta t} + \frac{2(km)_2}{r^2 \ln \frac{1.5\sqrt{\chi t}}{r}} P \text{Exp} \left\{ \frac{2(km)_2}{r^2 \ln \frac{1.5\sqrt{\chi t}}{r}} \right\}, \quad (4.2)$$

где ΔP - избыточное давление; ρ - плотность жидкости; g - ускорение силы тяжести; χ - коэффициент проницаемости; r - радиус скважины; ω - круговая частота колебаний расхода; α - сдвиг фаз между гармониками расхода и давления; β - коэффициент затухания.

При значительном сопротивлении горных пород процессам фильтрации, когда упругие колебания затухают в первом периоде, в (4.2) знак \sin заменяется на sh (Н.В.Бухгольц).

Учитывая принятые допущения при выводе формулы (4.2), последняя является приближенной, в силу чего точность определения фильтрационных характеристик может быть соизмерима не более, чем с результатами их определений по данным кратковременных одиночных

откачек или нагзов, то есть определения имеет оценочный характер.

Исходной эмпирической информацией для определения профиля водопроницаемости является расходограмма $\Sigma q_h = f(h)$, где Σq_h - суммарный расход в фазовом промежутке времени $t_2 - t_1$ на глубине h . Численно доказано, что для любого проницаемого интервала значение водопроводимости пропорционально интегральному водоприходу за фиксированный промежуток времени (не более, чем с 10% - ной погрешностью). Тогда для i -той водоносной зоны

$$(km)_i = (km)_0 \frac{\Sigma q_{ik} - \Sigma q_{in}}{\Sigma q_0} \quad (4.3)$$

где $(km)_0$ - водопроводимость всего разреза; Σq_{ik} и Σq_{in} - интегральный расход соответственно в кровле и подоше 1-ой зоны в фазовом промежутке $t_2 - t_1$; Σq_0 - интегральный расход для всей скважины.

На количественном уровне интерпретации расходографии определяются абсолютные значения коэффициента фильтрации и водопроводимости для каждой выделенной водоносной зоны. Первый вариант - это использование в формуле (4.3) данных о $(km)_0$, полученных независимо (от расходографии) путем, например, по результатам откачек. Второй вариант - непосредственное использование уравнения (4.2). Неизвестными величинами в уравнении являются $(km)_1$, $(km)_2$, α , θ . В диссертации предложено два варианта его решения: 1) с использованием свойств экстремальных точек; 2) итерационное решение по способу Ньютона. Скин-эффект при интерпретации учтен по методике И.М.Гершановича.

К настоящему времени расходометрический каротаж на серных месторождениях Предкарпатья выполнен более чем в шестистах скважинах. По результатам интерпретации дана обобщенная характеристика профиля проницаемости на различных участках Язовского, Демировского и Загайпольского месторождений. Анализ впор распределения частоты встречи проницаемых интервалов и впор распределения фильтрационных характеристик по глубине продуктивного горизонта до и после интенсификационных работ приводит к выводу о наличии следующих закономерностей в распределении фильтрационных свойств в разрезе.

Проницаемые интервалы в пределах серосодержащего горизонта объединяются в водоносные зоны, количество которых колеблется на разных участках месторождений от одной до трех. Водоносные зоны по вертикали не обязательно связаны между собой. Распределение водопроницаемых интервалов по большинству зон соответствует одно-

му из классических распределений (нормальному, логнормальному). Максимальное количество проницаемых интервалов приходится на приподвиженную часть пласта. Кривые профиля коэффициента фильтрации (водопроницаемости) сглажены по сравнению с кривыми распределения проницаемых интервалов. Следовательно, существует тенденция постоянства произведения частоты встречи проницаемых интервалов на их приемистость по плоские продуктивного горизонта.

Гидроразрывы и кислотные обработки укрупняют водоносные зоны, которые становятся более однородными, при этом зональность водопроницаемости сохраняется. Это означает, что в практически непроницаемых разрезах существует не связанная между собой макропустотность той же зональности, что и на проницаемых блоках участков. По впазам коэффициента фильтрации можно судить, за счет чего произошло увеличение водопроницаемости при интенсификации - мощности или коэффициента фильтрации. Для количественной характеристики изменения проницаемости с глубиной в пределах каждой зоны наиболее приемлемой является экспоненциальная функция. Этот вывод согласуется с имеющимися гидрогеологическими исследованиями в различных районах (В.Д.Бабускин, Г.Н.Кашковский, А.Н.Кукин, З.П.Лебедевская, Л.З.Левы, И.И.Плотников, Д.С.Соколов и др.). Принципиально новым здесь является вывод об изменении проницаемости по экспоненте как вниз, так и вверх по разрезу от максимального значения.

5. МЕТОДИКА КАРТИРОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В МЕЖКВАДРАТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ НА БАЗЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ФИЛЬТРАЦИОННО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ

В предыдущих разделах рассмотрены вопросы оценки водопроницаемости горных пород по площади и в разрезе. Получаемая информация носит дискретный опосредованный характер и дает возможность построения двумерных фильтрационных моделей. Однако на этих моделях не находят отражения фильтрационные потоки в трещинно-карстовых системах с ярко выраженной фильтрационной неоднородностью, например в системах трещин гидроразрыва. Кроме того, для последующих более детальных трехмерных построений необходим дополнительный параметр, обладающий следующими свойствами: 1) функциональная связь с полем фильтрации; 2) аналитически простой (и известный) закон распределения этого параметра в пространстве; 3) возможность неслесной и непрерывной регистрации.

Указанным требованиям удовлетворяют фильтрационные электрические потенциалы, непосредственным источником которых являются сами фильтрационные потоки.

К настоящему времени в литературе описан метод картирования зон поглощения или разгрузки фильтрационных потоков в приповерхностных частях земли по аномалиям электрических потенциалов, сопровождающим фильтрацию жидкости, а также методы исследования фильтрационных потенциалов в лабораторных условиях и в буровых скважинах (В.А.Богословский, В.Н.Дахнов, В.П.Кобранова, А.А.Огильви, А.С.Семенов, В.Н.Чубаров и др.). В диссертации предложен новый подход к объяснению природы потенциалов течения и обоснована возможность картирования фильтрационных потоков в межскважинном пространстве без ограничения глубинности.

По нашей гипотезе электрические потенциалы, сопровождающие фильтрационные потоки, возникают вследствие двух основных причин. Первая - описанная в литературе схема потенциалов течения. Второй причиной являются механо-электрические преобразования, которые реализуются при изменении механического напряжения в горных породах, вмещающих фильтрационный поток, за счет изменения давления по потоку. Тогда фильтрационный потенциал может быть представлен в виде суммы потенциала течения U_1 и потенциала давления U_2 :

$$U = U_1 + U_2. \quad (5.1)$$

Механизм возникновения потенциалов течения предложен Гельмгольцем и связан с возникновением двойного электрического слоя при адсорбции более тяжелых ионов из воды стенками фильтрационного канала. Перемещение свободных ионов эквивалентно электрическому току и приводит к возникновению естественных потенциалов. Величина потенциала течения оценивается выражением

$$U_1 = \lambda_1 \Delta P = \frac{\epsilon_0 \epsilon \rho \xi}{\mu} \Delta P, \quad (5.2)$$

где λ_1 - коэффициент фильтрационно-электрического преобразования; ΔP - разность давлений на входе и выходе фильтрационной системы; ϵ_0 - электрическая постоянная; ϵ - диэлектрическая проницаемость; ρ - удельное электрическое сопротивление; ξ - электрокинетический потенциал, зависящий от природ. адсорбированных ионов; μ - динамическая вязкость.

Численная оценка U_1 дает $0.018 + 0.24$ В.

Механизм возникновения потенциала давления исследован нами совместно с В.В.Ивановым и Б.Г.Тарасовым. Основная идея объяснения этого эффекта состоит в том, что стационарные радиальных механических поля могут существовать с стационарными потоками в

нных дефектов структуры. Поскольку в состоянии термодинамического равновесия эти заряженные центры компенсированы зарядами противоположных знаков, поле отсутствует. После приложения напряжения равновесие нарушается из-за направленного перемещения дефектов. Возникает электрическое поле, для оценки потенциала которого получено выражение

$$U_2 = \lambda_2 \sigma = \frac{\Omega f}{3 q_0} \sigma, \quad (5.3)$$

где λ_2 - коэффициент механо-электрического преобразования; σ - механическое напряжение; Ω - атомный объем дефекта; f - энтропийный коэффициент; q_0 - заряд, переносимый одной вакансией.

Численная оценка U_2 дает $0.0005 + 0.54$ В.

Итоговое электрическое поле рассматривается как суперпозиция U_1 и U_2 . Тогда ΔP в (5.2) и σ в (5.3) - есть одна и та же величина $P = \Delta P = \sigma$, а фильтрационный потенциал в соответствии с (5.1) равен

$$U = (\lambda_1 + \lambda_2) P. \quad (5.4)$$

Решением задачи Дирихле для линейного фильтрационного канала получено распределение фильтрационного потенциала в любой точке однородного изотропного пространства, что позволило исследовать структуру фильтрационного поля и оценить реальные значения фильтрационных потенциалов. Решение получено совместно с Я.И.Савчуком, А.В.Станкиным. Кроме того, оценен аномальный эффект помех за счет влияния геовольтовой неоднородности разреза по сопротивлению и доказано, что для исследуемых горизонтов он не превышает 10 - 15%, что вполне приемлемо на фоне значительно больших фильтрационно-электрических аномалий. Тем самым созданы физические предпосылки для решения обратной задачи картирования фильтрационных потоков по данным измерений сопровождающих их электрических полей.

Специфика предлагаемого варианта исследований с технической стороны заключается в скважино-наземном способе измерений. Фильтрационный потенциал измеряется по стволу скважины, при этом в качестве фоновых используются электроды наземной опорной сети, что дает возможность увязать все измерения в скважинах между собой. Тогда информация представляется в виде кривых распределения потенциалов по профилю скважин и зрты распределения потенциалов на уровне исследуемого пласта. Таким образом ликвидируется фактор ослабления поля за счет промежуточного слоя, лежащего между аномалиеобразующим пластом-коллектором и поверхностью земли и увеличивается глубинность исследований.

Алгоритм количественной интерпретации данных метода с решени-

ем задачи картирования фильтрационного поля по его интенсивности сформирован следующим образом. Пусть задана горизонтально-слоистая модель среды, глубина расположения источников, распределение потенциала $U(x, y)$ на любой глубине \bar{z} . Требуется найти распределение источников I на заданной глубине z . Функция $U(x, y)$ задана дискретно. Предполагаем, что каждой точке этой функции соответствует в плане источник, помещенный на глубине z . Потенциал $U(x, y)$ представляет собой сумму потенциалов от всех источников. Тогда для расчета интенсивности источников приходим к необходимости решения системы линейных уравнений, описывающей принцип суперпозиции для заданного числа элементарных источников q :

$$\sum_{j=1}^q I_j U(\bar{z}, r_{1j}) = U_1, \quad (5.5)$$

где $U(x, y)$ — это $U_1, \dots, U_1, \dots, U_q$, а значения $U(\bar{z}, r)$ рассчитываются для заданной горизонтально-слоистой модели среды и заданной глубины z расположения единичного точечного источника по известным формулам теории поля (А.И. Заборовский).

Исследования по предложенной методике проведены на участках Немировского и Загайпольского месторождений. Результаты представлены в виде карты распределения интенсивностей источников в плане и в виде графиков $I(1)$ по основным направлениям фильтрационных потоков. Распределение интенсивностей источников соответствует распределению проницаемости горных пород. Наиболее приемлемым вариантом полевых работ являются режимные исследования в так называемых глухих наблюдательных скважинах, которые не удалось связать гидроразрывом. Тогда гарантировано измерение потенциалов от потоков именно в межскважинном пространстве. Такие режимные исследования проведены на Загайпольском месторождении с последовательным решением задач картирования путей движения теплоносителя в природных условиях, трещин гидроразрыва, исследования динамики развития зон выплавки и соответственно водопроводимости выплавки.

Идея использования потенциалов, интенсифицированных геомеханическими и фильтрационными процессами, нашла применение и в смежных областях. Так, Б.Г. Тарасовым при участии автора разработано направление геофизического сопровождения бурения глубоких нефтяных и газовых скважин, суть которого состоит в измерении и интерпретации геоэлектрической аномалии потенциала ϕ , возникающей в скважине при ее проводке и измеряемой на поверхности в приустьевой зоне. При измерениях скважину считаем эквипотенциальным зондом, выводим и информацию об электрическом поле на поверхности. Тогда распределение потенциала в приустьевой зоне представляется в виде

графика $\varphi = \varphi(t)$, где время бурения t сопоставимо с глубиной H , вследствие чего график пересчитывается в функцию $\varphi = \varphi(H)$.

На экспериментальных графиках, полученных нами при бурении на месторождениях серы, проницаемые интервалы в продуктивном горизонте отмечены знакопеременной аномалией, что объясняется трещинно-карстовой природой коллекторов, вследствие чего фильтрационные потенциалы течения по трещинам и стенкам между ними распределяются с разными знаками. Кроме того, "всплески" потенциалов могут возникать за счет того, что долото в трещинно-карстовом коллекторе работает с переменной нагрузкой. Других объяснений нет. В целом сопоставление эмпирических графиков с теоретическими удовлетворительное. В итоге в процессе бурения восстанавливается литолого-стратиграфический разрез и выделяются зоны коллектора с повышенным пластовым давлением и интенсивной фильтрацией.

Преимущество метода в том, что он не требует отбора керна и спуско-подъемных операций с измерительным зондом, что делает его незаменимым при бескерновом бурении в "горячих зонах" на участках ДВС. В настоящее время ведутся работы по внедрению метода на месторождениях серы.

6. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СЕРЫ ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Основные вопросы математического моделирования геофильтрации рассмотрены в работах И.К.Гавич, В.М.Гороховского, И.В.Жернова, И.И.Крашина, Л.Лукнера, В.И.Лялько, В.А.Мироценко, Н.А.Огильви, Н.С.Огняника, И.С.Пашковского, А.Б.Ситникова, В.М.Шестакова и др. Обзор существующих математических моделей пространственного распределения гидрогеологических характеристик приведен в работе А.Л.Фельдмана, С.М.Чесалова. Отмечено, что наиболее употребительным и эффективным способом анализа и описания пространственной изменчивости количественных гидрогеологических данных являются статистические методы, с использованием которых возможно решение следующих конкретных задач: построение моделей площадного распределения гидрогеологических параметров; оптимизация разведочных сетей; идентификация параметров потоков подземных вод; условное распределение геофильтрационных потоков.

Отличительные особенности предлагаемой нами методики заключа-

ются в использовании принципиально нового комплекса прямых и функциональных методов, что обеспечивает непрерывный характер информации в трехмерном пространстве; в критериальном подходе к интерпретации данных; в построении пространственных моделей распределения геофильтрационных характеристик в динамике их природно-техногенного развития.

Исходными данными для построения трехмерных моделей являются распределение водопроводимости по площади; геофильтрационные разрезы по скважинам; распределение фильтрационных электрических потенциалов в межскважинном пространстве. Методика способов изучения указанных параметров обоснована в предыдущих разделах. Дополнительная априорная информация: данные по литолого-стратиграфическому разрезу скважин; сведения о дебитах и давлениях возбуждения скважин, а также о взаимодействии центральных и наблюдательных скважин; результаты и параметры интенсификационных работ.

Построение трехмерной математической модели состоит из следующих этапов: нормирование данных, интерполяция, проектирование двумерных моделей в трехмерное пространство, решение обратной задачи.

Нормирование данных предусматривает переход к единой системе оценки фильтрационных характеристик - распределению коэффициента фильтрации, а также линеаризацию поля фильтрационных потенциалов.

Двумерная интерполяция всех данных на регулярную квадратную сеть производится с использованием алгебраических полиномов с целью последующей аппроксимации трехмерной среды.

При проектировании двумерного решения в трехмерном пространстве используется информация о пространственном положении исследуемого участка и проницаемых зон, двумерная модель, показывающая положение фильтрационных слоев в плане. Двумерные модели распределения коэффициентов фильтрации. Полученное в результате такого проектирования распределение коэффициента фильтрации в трехмерном пространстве используется в качестве начального приближения для решения обратной задачи.

Решение обратной задачи построения трехмерной фильтрационной модели осуществлено градиентным методом на основе критериального подхода, наиболее полно отраженное в работах А.И. Кобрунова при решении обратных задач геофизики. Наша цель - доказать целесообразность применения этого подхода при построении моделей пространственного распределения гидрогеологических фильтрационных характеристик и условий его реализации.

Суть критериального подхода состоит в том, что из заданного класса моделей выбирается такая, которая максимально соответствует априорной геолого-геофизической информации при минимальной невязке между наблюдаемым полем и полем, рассчитанным от полученной модели. Предлагаемая здесь схема решения предусматривает следующую последовательность: задание в исходной модели трехмерного распределения коэффициента фильтрации; пересчет поля фильтрации в поле давлений; расчет поля фильтрационных потенциалов по полю давлений; сравнение полученного поля с наблюдаемым и переопределение модели в случае недопустимо большого расхождения.

Пусть нам дано U - наблюдаемое поле фильтрационных электрических потенциалов, представленное в виде вектора $U = (U_1, U_2, \dots, U_n)$. Необходимо найти распределение коэффициентов фильтрации k по объему. Построим нулевое приближение модели $k = (k_1^0, k_1^0, \dots, k_m^0)$, исходя из априорной геолого-геофизической информации (здесь и далее надстрочный индекс означает номер итерации).

Схема решения обратной задачи - нахождения распределения коэффициентов фильтрации по заданному полю - сводится к итерационному процессу:

$$k^{n+1} = k^n + \alpha^n A^{*} (k^n) (A(k^n) - U), \quad (6.1)$$

где α^n - параметр релаксации, отвечающий за сходимость итерационного процесса; A - оператор прямой задачи; A^{*} - оператор, сопряженный к оператору производной Фреше от оператора прямой задачи.

Решение прямой задачи заключается в нахождении распределения давления с последующим поиском распределения электрических потенциалов. Для определения значений давления решается система уравнений (Я.Бер, Д.Заславски, С.Ирмей)

$$\operatorname{div} (k \cdot \operatorname{grad} H) = k \nabla^2 H + \operatorname{grad} k \cdot \operatorname{grad} H = 0, \quad (6.2)$$

$$H = \frac{P}{\gamma} + z, \quad (6.3)$$

где H - напор; $\gamma = \operatorname{const}$ - удельный вес;

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} - \text{оператор Гамильтона.}$$

Уравнение (6.2) описывает установившуюся фильтрацию в неоднородной среде и решается на трехмерной сетке конечно-разностным методом. В качестве исходных данных рассматриваются, наряду со значениями коэффициентов фильтрации, напоры в некоторых известных m точках: $H_i = \operatorname{const}$, $i = 1, \dots, m$.

Граничные условия задаются конкретны для каждой модели и описывают поведение функции напора и (или) ее производных на контуре, ограничивающем рассматриваемый объем, а также расходом.

Вычислив далее приращения давлений ΔP , рассчитываем теорети-

ческие значения потенциалов элементарных источников по формуле

$$A(k) = (\lambda_1 + \lambda_2) \Delta p. \quad (6.4)$$

Выражения для коэффициентов фильтрационно-электрического и механо-электрического преобразования λ_1 и λ_2 обоснованы в предыдущем разделе.

Производная Фреше A' представляет собой матрицу $1 \times m$, состоящую из элементов $U_{1j} = \partial a_1 / \partial k_j$:

$$A' = \begin{vmatrix} \frac{\partial a_1}{\partial k_1} & \frac{\partial a_1}{\partial k_2} & \dots & \frac{\partial a_1}{\partial k_m} \\ \frac{\partial a_2}{\partial k_1} & \frac{\partial a_2}{\partial k_2} & \dots & \frac{\partial a_2}{\partial k_m} \\ \frac{\partial a_1}{\partial k_1} & \frac{\partial a_1}{\partial k_2} & \dots & \frac{\partial a_1}{\partial k_m} \end{vmatrix}. \quad (6.5)$$

Сопреженный оператор A'^* будет матрицей, транспонированной к A' .

Полученная модель носит статистически-вероятностный характер и наилучшим образом аппроксимирует рассматриваемую модель распределения коэффициента фильтрации с точки зрения минимизации невязки. Практическая реализация моделирования для конкретных участков серых месторождений осуществлена А.В.Станкиным.

Построение пространственной модели возможно при наличии полного объема информации, включающего двумерные распределения по площади и в разрезе. Основными методами исследований являются опытно-фильтрационные работы, полевая (наземная) геофизика, расходомерия, съемка фильтрационных потенциалов. Изучение керновых данных, эмпирические и функциональные каротажные методы, петрофизические исследования носят подчиненный характер при непосредственном моделировании, но являются необходимыми для литолого-стратиграфического расчленения разреза, создания физических предпосылок интерпретации и априорного ограничения моделей. На приведенной ниже блок-схеме изложен в логической последовательности предложенный комплекс гидрогеологических, наземных геофизических, гидротехнических, скважинных и гидрогеофизических работ, являющийся необходимым и достаточным для восстановления пространственной модели распределения геофильтрационных параметров на любой стадии исследования серых залежей (рис. 1). Разработанная схема интерпретации предусматривает моделирование распределения геофильтрационных параметров в динамике и изменения

Блок-схема построения
геофильтрационных моделей

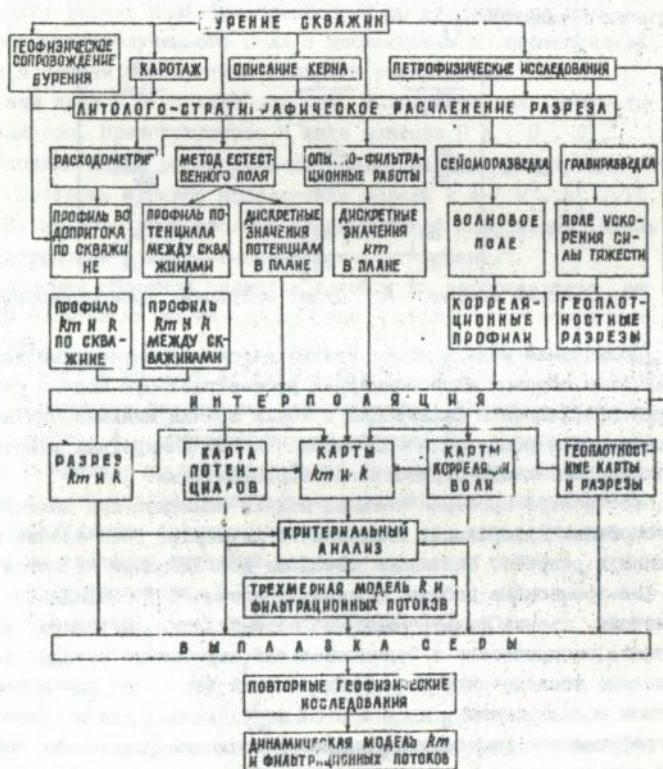


Рис. 1

Схема гидрогеологической подготовки месторождений серы к эксплуатации

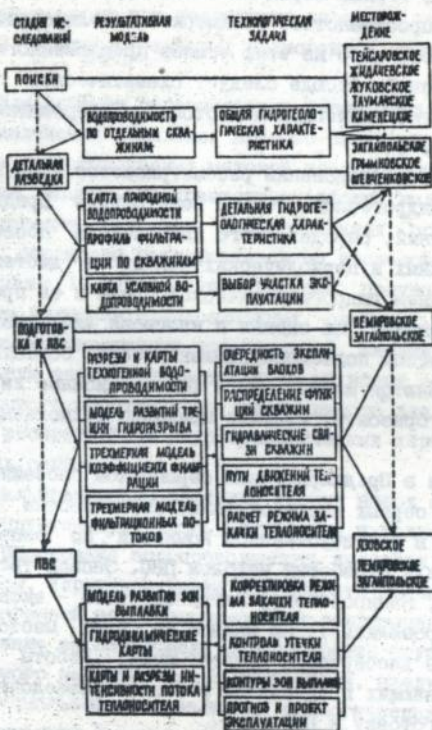


Рис. 2

и построены пространственных изображений коэффициентов фильтрации, водопроницаемости, напора, интенсивности подземных потоков. Система автоматизирована и доведена до реализации на ЭВМ.

Пространственное моделирование распределения гидрогеологических характеристик является завершающим этапом в методологической системе предложенных исследований. Мы последовательно по главам представили методические разработки, предусматривающие изучение фильтрационных свойств горных пород по площади, в разрезе скважин, в межскважинном пространстве. Трехмерное моделирование было бы невозможно без какого-либо из этих этапов предложенного замкнутого цикла исследований. Отсюда следует схематическое оформление методологии гидрогеологической подготовки месторождений серы к эксплуатации (рис.2).

Предложенная схема исследований рассматривается нами в качестве составной части гидрогеологического мониторинга Предкарпатских серных месторождений, определяемого как система последовательных регламентированных и периодических прямых и дистанционных наблюдений за состоянием гидрогеологической среды и ее пространственно-временных изменений, их оценки и прогноза для решения задачи управления процессом подземной выщелачивания серы. Основным объектом мониторинга являются изменяющиеся фильтрационные характеристики продуктивного горизонта, имеющие природно-техногенный характер.

В настоящее время в Предкарпатском сероносном бассейне ведутся дальнейшие поиски серных месторождений. Уже известны 15 месторождений, 7 защищено в Государственной комиссии по запасам, из них 5 предназначено для отработки методом ПВС. Запасы трех месторождений - Язовского, Немировского, Загайпольского - эксплуатируются (или эксплуатировались). На каждом из этих месторождений внедрены изложенные в диссертации исследования. Работы выполнялись по заказам добывающих предприятий и геологоразведочных экспедиций, ведущих подготовку к ПВС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, а также обширный опыт опробования и внедрения сформулированных результатов, позволяют сделать следующие выводы.

1. Разработка методологии оценки и контроля природно-техноге-

нной геофильтрационной ситуации как нового технологического направления в гидрогеологической подготовке месторождений серы к эксплуатации представляет собой актуальную проблему, имеющую важное научное и практическое значение. Выделяются три основных этапа гидрогеологических исследований: 1) оценка природной водопроницаемости для выбора участков эксплуатации и обоснования технологических схем выплавки серы; 2) исследование развития техногенной проницаемости при подготовке участков ко вводу их в эксплуатацию; 3) контроль развития техногенной проницаемости при эксплуатации.

2. Для решения перечисленных задач представляется целесообразным привлечение комплекса наземно-скважинных геолого-гидрогеологических и геофизических методов исследований: изучение кернового материала, опытно-фильтрационные работы, гидрокаротаж, гравитационная и сейсморазведка, изучение фильтрационных потенциалов. Указанный комплекс обоснован петрофизическими исследованиями и разделяется на 3 группы: 1) методы картирования проницаемости по площади; 2) методы изучения фильтрационных свойств по разрезу скважин; 3) методы межскважинных исследований. Каждая группа, решая самостоятельную задачу, является в то же время составной частью информационного пространства, необходимого для трехмерного моделирования распределения гидрогеологических характеристик на месторождениях серы.

3. Фильтрационные свойства горных пород серных месторождений характеризуются природной, прогнозной и техногенной водопроводимостью. Прогнозная водопроводимость является наиболее эффективным параметром, характеризующим способность горных пород к образованию техногенной водопроводимости и реализации подземной выплавки. Картирование ее по площади целесообразно осуществлять по функции комплексного вероятностного показателя, предусматривающего интегральное использование различных геологических, гидрогеологических и геофизических методов, базирующихся на изучении потенциальных полей. Техногенная водопроводимость выплавки с поверхности достаточно надежно картируется сейсморазведкой и гравитационной разведкой по параметрам амплитудного коэффициента отраженных волн и геоплотностным построениям.

4. Прямым методом оценки распределения водопроводимости по вертикали является расхождение гидрогеологических скважин. Для условий серных месторождений разработана модифицированная схема рас-

рии при импульсном возбуждении скважин и выведены формулы, составляющие основу интерпретации. Количественный анализ вертикальной фильтрационной зональности, выполненный на основе созданных обобщенных фильтрационных схем, свидетельствует о доминировании на различных участках водоносных зон, определяющих направление ПВС.

5. Картирование фильтрационных потоков в межскважинном пространстве предлагается выполнять методом изучения фильтрационных электропотенциалов, для существования которых предложен и физически обоснован принципиально новый механизм. На базе решения задачи оценки распределения фильтрационных потенциалов в массиве горных пород разработана методика интерпретации, предусматривающая определение путей движения фильтрационных потоков по площади и качественную характеристику их интенсивности.

6. Необходимым методом исследования разреза гидрогеологических скважин является метод геофизического сопровождения бурения, заключающийся в исследовании геовольтовой аномалии, возникающей в скважине вследствие механо- и фильтрационно-электрических преобразований. В результате интерпретации в процессе бурения восстанавливается литолого-стратиграфический разрез, выделяются зоны коллекторов с повышенным пластовым давлением, а также контролируются технологические операции процесса бурения.

7. Завершающим этапом изучения геофильтрационной природно-техногенной ситуации является математическое моделирование пространственного распределения гидрогеологических характеристик: коэффициентов фильтрации и фильтрационных потоков. Особенность предлагаемого способа заключается в использовании принципиально нового комплекса прямых и функциональных методов, в критериальном подходе к интерпретации вероятностно-статистических моделей, а также в изучении природно-техногенных фильтрационных характеристик в динамике их развития.

8. В результате реализации предложенных в диссертации методов и методик изучения геофильтрационных сред на всех эксплуатируемых методом ПВС серных месторождениях осуществлено на разных стадиях исследования решение следующих основных технологических задач: очередность ввода участков в эксплуатацию, прогноз успеха эксплуатации, размещение скважин и распределение их функций, прогноз и контроль интенсификационных работ, выбор режима закачки теплоносителя, оценка эффективности выплавки и целесообразности ее продолжения, контроль развития проплавленных зон и их геометризация,

оценка распределения теплоносителя по участку и контроль его утечки, оценка остаточных запасов серы.

Наличие методической основы и опыта решения перечисленных задач является базой для создания новой технологии эксплуатации серных залежей, что определяет перспективу дальнейшего освоения забалансовых запасов крупнейших месторождений Предкарпатского сероносного бассейна.

СПИСОК РАБОТ, ПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Гершанович И.М., Кузьменко Э.Д. К вопросу количественной интерпретации данных расходометрического каротажа при установившемся режиме возбуждения скважины // Применение скважинных и наземных геофизических методов при решении гидрогеологических и инженерно-геологических задач: Сб. науч.тр.-М.:ВСЕГИНГЕО, 1974. Вып.74.-С.45-51.

2. Гершанович И.М., Кузьменко Э.Д., Каринская Л.Д. О форме расходограммы против однородного водоносного горизонта в открытой скважине // Геофизические и изотопные методы гидрогеологических и инженерно-геологических исследований: Сб.науч.тр.- М.:ВСЕГИНГЕО, 1975.-Вып.90.-С.5-24.

3. Кузьменко Э.Д., Гершанович И.М. О дилфтрационном разрезе карбонатных пород Иксинского месторождения СОБР по данным расходомеррии // Использование геофизических методов при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях: Сб.науч.тр.-М.: ВСЕГИНГЕО, 1975.-Вып.97.-С.48-60.

4. Геофизические исследования в скважинах с решениями гидрогеологических и инженерно-геологических задач / И.М.Гершанович, Ю.М.Горшков, Э.Д.Кузьменко и др.// Тез.докл. республиканского совещания по внедрению геофизических методов изысканий для строительства.-Новгород, 8-9 сентября 1976.-С.63-64.

5. Кузьменко Э.Д. Особенности интерпретации и данных расходомеррии при установившемся возбуждении в условиях взаимодействия скважин // Гидрогеология и инженерная геология: Сб. науч.тр. М.: ВИАМС, 1978.-Вып.3.-С.7-12.

6. Кузьменко Э.Д. Обработка данных расходомеррии методом регуляризации // Разведка и освоение недр.- 1978.- N 8.-С 51-53.

7. Кузьменко Э.Д. Определение абсолютных значений коэффициента водопроницаемости по данным расходомерии в естественных условиях // Гидрогеология и инженерная геология: Сб. науч. тр. - М.: ВИЭМС, 1980. - Вып. 11. - С. 1-6.

8. Кузьменко Э.Д. Эмпирический прием интерпретации расходограмм в условиях двухслойных разрезов // Гидрогеология и инженерная геология: Сб. науч. тр. - М.: ВИЭМС, 1980. - Вып. 11. - С. 6-13.

9. Определение некоторых геометрических характеристик инженерных металлических сооружений по их переходному сопротивлению / Г.И.Квятковский, В.И.Бондарев, Э.Д.Кузьменко, С.Г.Бабик и др. // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений: Сб. науч. тр. - Львов, Выща школа, - 1983. - Вып. 20. - С. 49-51.

10. Кузьменко Э.Д., Баграмян Е.А., Колодий С.В. Способ расходометрического каротажа // Информационный листок о НТД, N84-03, Ивано-Франковский ЦНТИ, 1984. - 4с.

11. Кузьменко Э.Д., Баграмян Е.А., Колодий С.В., Кузьменко А.Д. Обработка и интерпретация данных расходомерии гидрогеологических скважин при восстановлении давления в режиме затухания свободных колебаний // Геология и инженерная геология: Сб. науч. тр. - М.: ВИЭМС, 1984. - С. 10-16.

12. Сайдаковский Л.Я., Кузьменко А.Д., Кузьменко Э.Д. Способы определения гидродинамических параметров пластов при возбуждении скважин импульсами давления // Материалы семинара-симпозиума "Бурение геотехнологических скважин". - М.: ГИГХС, 1984. - С. 64, 65.

13. А.С. 1154447 СССР, МКИ Е 21 В 47/04. Скважинный уровнемер / Э.Д.Кузьменко, Я.Н.Иванищук, М.Н.Пилипук, А.Д.Кузьменко. - N 3619294/22-03; Заявл. 13.07.83. Опубл. Бюллетень N 17, 1985.

14. Кузьменко Э.Д., Сайдаковский Л.Я. Особенности интерпретации данных расходометрического каротажа на серных месторождениях Предкарпатья // Тез. докл. VIII науч.-техн. семинара-совещания " Геофизические методы в гидрогеологии, инженерной геологии и гидротехнике ". - Ереван, 1985. - С. 143-144.

15. Бондарев В.И., Кузьменко Э.Д., Кириллов С.А., Меньшиков В.В. О влиянии локальных неоднородностей на результаты электрорических зондирований простыми установками // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений: Сб. науч. тр. - Львов, Выща школа, 1985. - Вып. 22. - С. 30-34.

16. О перераспределении вертикальной фильтрационной зональности серных залежей Предкарпатья при кислотной обработке / Э.Д.Ку-

зьменко, Е.А.Баграмян, А.М.Дубова, А.Д.Кузьменко и др. // Добыча серы.Сб.науч.тр.-М.:НИИТЭХИМ, 1985.-С.93-100.

17. Кузьменко Э.Д., Кириллов С.А., Меньшиков В.В. Теоретическое обоснование влияния локальных неоднородностей на результаты электрических зондирований / Ивано-Франковский ин-т нефти и газа. -Ивано-Франковск, 1986.-Деп. в ВИНТИ 25.03.86. N 1961-В.

18. Кузьменко Э.Д., Силуянов В.Н. О численном способе решения прямой задачи вертикальных электрических зондирований с учетом отражений на геoeлектрических границах / Ивано-Франковский ин-т нефти и газа.- Ивано-Франковск, 1986.-Деп. в ВИНТИ 25.03.86 N 1961-В.

19. Кириллов С.А., Кузьменко Э.Д., Кириллова А.Е. Обоснование возможности сейсморазведки рефрактированными волнами при подготовке месторождений серы к подземной выплавке // Тез.докл. II Всесоюз. конф. " Проблемы прогноза, поисков и разведки месторождений неметаллических полезных ископаемых ".-Казань: ВНИИГЕОЛНЕРУД, 1986.-С.142-143.

20. Кузьменко Э.Д., Кириллов С.А., Выгодский Е.М., Силуянов В.Н. Расчет электрического поля точечного источника в неоднородной среде с учетом поверхности Земли // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений: Сб.науч.тр.-Львов, Выща школа.- 1986.-С.38-40.

21. Кузьменко Э.Д. Аналитическое представление расхода водоносного горизонта при мгновенном возмущении скважины / Ивано-Франковский ин-т нефти и газа.- Ивано-Франковск, 1986.-Деп. в УкрНИИТИ 01.10.86 N 2370-Ук86.

22. Кузьменко Э.Д., Рудый Р.М., Корсун М.А. Аналитический метод определения гидродинамических параметров пластов при возбуждении скважин одиночными импульсами давления / Ивано-Франковский ин-т нефти и газа.- Ивано-Франковск, 1986.-Деп. в УкрНИИТИ 01.10.86. N 2369-Ук86.

23. Кузьменко Э.Д., Хотулев Г.П. Решение задачи по определению дебита скважины в процессе поддержания пластового давления. -Деп. в УкрНИИТИ 01.10.86. N 2371-Ук86.

24. Кузьменко Э.Д. Определение гидродинамических параметров пласта по данным исследования скважин в режиме затухающих колебаний дебита и давления. -Деп. в УкрНИИТИ 01.10.86. N2386-Ук 86.

25. О вертикальной фильтрации грей зональности серных залежей Предкарпатья / Э.Д.Кузьменко, И.Д.Роскош, А.М.Дубова, А.Д.Кузьме-

ню, А.В.Станкин.-Черкассы.-Деп. в ОНИТЭХИМ 18.09.86. N1105-ХП.

26. Методические указания по применению геофизических исследований в скважинах при проведении гидрогеологических и инженерно-геологических работ / Под ред. И.М.Гершановича.-М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. - 67 с.

27. Кузьменко Э.Д., Пилипюк М.Н., Иванищук Я.Н., Чокан Л.П. О способе измерения уровня воды при гидрогеологических исследованиях серодобичных скважин / Черкассы, 1987. - Деп. в ОНИТЭХИМ 03.07 87. N 853 - XII.

28. Кузьменко Э.Д., Баграмян Е.А., Чокан Л.П. Об изменении петрофизических характеристик продуктивного горизонта при выплавке серы // Технология добычи самородной серы: Сб.науч.тр.-М.: НИИТЭХИМ, 1987.- С.47-53.

29. Кузьменко Э.Д. Об определении гидродинамических параметров водоносных пластов при импульсном возбуждении скважин // Изв. вузов. Геология и разведка.-М.:1987.- N 11.- С.86-93.

30. Кузьменко Э.Д. Комплексование скважинного и наземного вариантов метода ЕП для контроля движения фильтрационных потоков // Тез.докл. IX Всесоюз.науч.-тех. семинара-совещания "Геофизические методы в гидрогеологии, инженерной геологии и шахтной геологии".-Донецк, 14-17 сентября 1987.-С.30-31.

31. Кузьменко Э.Д. Алгоритм решения обратной задачи расходомерметрического каротажа при импульсном возбуждении скважин // Тез. докл. IX Всесоюз.науч.-тех. семинара-совещания "Геофизические методы в гидрогеологии, инженерной геологии и шахтной геологии и шахтной геологии".-Донецк, 14-17 сентября 1987. С.31-32.

32. Кузьменко Э.Д., Бабик С.Г., Хенегар А.Г. Опыт контроля водопроводимости горных пород на серных месторождениях Предкарпатья по комплексу геолого-геофизических данных // Тез.докл. науч.-тех. семинара "Применение геофизических методов при гидрогеологических, инженерно-геологических исследованиях и охрана окружающей среды".-Симферополь, 18-19 ноября 1987.-С.98-100.

33. Кириллов С.А., Кириллова А.Е., Кузьменко Э.Д. Использование сейсморазделки рефрагированными волнами для подготовки месторождений серы к подземной выплавке. Тез.докл. науч.-тех. семинара "Применение геофизических методов при гидрогеологических, инженерно-геологических исследованиях и охране окружающей среды". - Симферополь, 18-19 ноября 1987. - С.101-103.

34. Кузьменко Э.Д., Бабик И.С. Особенности режима работы

пласта при поглощении разнонаправленных потоков // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений: Сб. науч. тр. - Львов, Выща школа, 1987. - С. 35-38.

35. Перспективы изучения геологических и гидрогеологических условий месторождений самородной серы геофизическими методами на стадии доразведки и эксплуатационной разведки / Э.Д. Кузьменко, Л.Я. Сайдаковский, С.А. Кириллов, Л.Б. Резниченко, С.М. Ивасив. - Деп. в УкрНИИТИ 02.11.87. N 3036-Ук 87.

36. Кузьменко Э.Д., Рудый Р.М., Кириллов С.А. К исследованию аналитического метода определения гидродинамических параметров водоносных горизонтов при возбуждении скважин одиночными импульсами давления. - Деп. в УкрНИИТИ 02.11.87. N 3025 - Ук 87.

37. Заграмян Е.А., Кузьменко Э.Д., Бойцан Я.М. Вопросы петрофизики продуктивного горизонта серных месторождений Предкарпатья. - Деп. в УкрНИИТИ 29.12.87. N 3332 - Ук 8.

38. Резниченко Л.Б., Меньшиков В.В., Кузьменко Э.Д. Перспективы использования методов полевой геофизики при исследовании месторождений самородной серы. Тез. докл. науч.-тех. семинара "Внедрение достижений научно-технического прогресса в практику геологических и маркшейдерских работ на предприятиях Минудобрений" - Ивано-Франковск, 25-27 марта 1987. - С. 52-53.

39. Кузьменко Э.Д., Станкин А.В. Решение прямой и обратной задачи электроразведки постоянным током в присутствии локальных неоднородностей типа эллипсоид вращения. - Деп. в УкрНИИТИ 05.01.88. N 109-Ук88.

40. Кузьменко Э.Д., Анисеев С.Г., Меньшиков В.В., Бальченко Л.П. Плотностная характеристика разреза по результатам детальных гравиразведочных работ на Немировском месторождении серы // Проблемы производства серы: Сб. науч. тр. - М.: НИИТЭХИМ, 1986. - С. 104-108.

41. Тарасов В.Г., Дырда В.В., Иванов В.В., Кузьменко Э.Д. Геоэлектрический контроль состояния массивов // Сборник докладов VII Международного конгресса по маркшейдерскому делу. - Ленинград, 28 июня - 2 июля 1988. - С. 101-109.

42. Определение проницаемости серосодержащего горизонта по комплексу геолого-геофизических данных / Э.Д. Кузьменко, С.Г. Бабюк, А.Г. Хенегар, Л.Б. Резниченко, А.Д. Кузьменко и др. // Получение и переработка серы: Сб. науч. тр. - М.: НИИТЭХИМ, 1988. - С. 12-22.

43. Кузьменко Э.Д., Кириллов С.А., Меньшиков В.В. Выбор региональных установок метода сопротивлений для исследования геологических

трических неоднородностей // Материалы II науч. конференции аспирантов и молодых ученых.-М.: МГУ, март 1984. - С.28-34.- Деп. в ВИНТИ 26.02.88 N 1597 -В88.

44. Состояние и перспективы геофизической изученности серных месторождений при подготовке их к подземной выплавке / Э.Д.Кузьменко, Е.А.Баграмян, С.М.Ивасив, С.А.Кириллов и др. - М., 1988. - 59 с. -/Обз.инф./ НИИТЭХИМ: Сер.Сера и серная промышленность/.

45. Кузьменко Э.Д., Ивасив С.М., Гайдин А.М., Салок И.В. Методические рекомендации по расходометрическому каротажу при импульсном возбуждении скважины. - Черкассы, Министерство по производству минеральных удобрений, ИНИПСЕРА, 1988. - 59с.

46. Тарасов Б.Г., Кузьменко Э.Д., Малярчук Б.М., Гордийчук Н.В. Отражение технологических операций глубокого бурения в электрических полях//Изв.ВУЗов. Геология и разведка.-1989.- №5.- С.119-125.

47. Тарасов Б.Г., Кузьменко Э.Д., Малярчук Б.М., Гордийчук Н.В. О возможности прогнозирования зон аномально высокого и низкого пластового давления по измерениям геопотенциала // Изв.ВУЗов.Геология нефти и газа. - 1989. - N 1. - С.14-18.

48. Кузьменко Э.Д. Методология гидродинамических и геофизических исследований в задачах управления геодальтратционной структурой серных месторождений Предкарпатья при их эксплуатации // Тез. докл. 10 Всесоюз.науч.-тех. семинара-совещания "Использование новых геофизических методов для решения инженерно-геологических и гидрогеологических задач". М.: ВСЕГИНГЕО, 1989. - С.173-175.

49. Кузьменко Э.Д., Кириллов С.А., Хенегар А.Г. Методика картирования искусственной водопроницаемости методами сейморазведки и гравиразведки // Тез. докл. 10 Всесоюз.науч.-тех. семинара-совещания "Использование новых геофизических методов для решения инженерно-геологических и гидрогеологических задач".-М.: ВСЕГИНГЕО, 1989. - С.176-177.

50. Разработка метода и средств контроля бурения на основе изучения геовольтерических потенциалов // Б.Г.Тарасов, Э.Д.Кузьменко, Б.М.Малярчук, Н.В.Гордийчук, Я.М.Савчук.-Деп. в УкрНИНТИ 13.10.89. N 2196-Ук89.

51. Кириллов С.А., Кузьменко Э.Д., Бальченко Л.П. Опыт применения сейморазведки рефрагированными волнами на месторождениях самородной серы // Вопросы добычи и переработки серных руд: Сб. науч.тр.-М.: НИИТЭХИМ, 1989. - С.113-124.

52. Кузьменко Э.Д., Хенегар А.Г., Фисенко Ж.Н. Учет гравли-

ческого сопротивления скважин при оценке интервалов приемистости: Сб. науч. тр. - М.: НИИТЭХИМ, 1989. - С. 123-128.

53. Петрофизика серных месторождений Предкарпатья /Э.Д. Кузьменко, Е.А. Баграмян, Л.А. Петрик и др. - М. 6 1989. - 67 с. - / Обз. инф. / НИИТЭХИМ; Сер. сера и серная промышленность/.

54. Гордийчук Н.В., Тарасов Б.Г., Кузьменко Э.Д., Хотулев Г.П. Реакция естественного геоэлектрического поля на вскрытие продуктивных нефтеносных пластов // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений: Сб. науч. тр. - Львов, Свит. - 1990. - №27. - С. 47-49.

55. Кузьменко Э.Д., Кириллов С.А., Хенегар А.Г., Роскош И.Д. О возможности контроля выплавленных зон методом сейсморазведки // Технологические проблемы добычи природной серы: Сб. - М.: НИИТЭХИМ, 1990. - С. 24-32.

56. Кузьменко Э.Д., Станкин А.В. Объемное картирование фильтрационного потока в любой точке пласта. - Киев: Час, 1990. - 4 с.

57. Опыт прослеживания путей теплоносителя методом электроразведки / Э.Д. Кузьменко, Л.А. Петрик, А.В. Станкин и др. // Технологические проблемы добычи природной серы: Сб. науч. тр. - М.: НИИТЭХИМ, 1990. - С. 32-36.

58. Кузьменко Э.Д., Савчук Я.И., Хенегар А.Г. Способ расчета фильтрационных параметров по данным измерения расхода при импульсном возбуждении скважин // Науч.-техн. достижения и передовой опыт в обл. геол. и разведки уедр: Сб. - М.: ВИЭМС, 1990. - Вып. 8. - С. 41-48.

59. Иванов В.В., Тарасов Б.Г., Кузьменко Э.Д., Гордийчук Н.В. О механической природе потенциалов электрического поля в земной коре // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. - М.: 1991. - №3. - С. 101-104.

60. Кузьменко Э.Д., Савчук Я.И., Станкин А.В. Электрическое поле линейного проводника при произвольном распределении потенциала / Ивано-Франковский ин-т нефти и газа. - Ивано-Франковск, 1990. - 10с. - Деп. в УкрНИИТИ 1.07.91 N 928 Ук91.

61. Кузьменко Э.Д., Станкин А.В. Построение трехмерных фильтрационных моделей по данным гидрогеофизики // Геофизические исследования в гидрогеологии и инженерной геологии: Тр. ГИДРОИНГЕО. - Ташкент: САИТИС, 1991. - С. 88-92.

62. Кузьменко Э.Д. Гидрогеологическое обоснование разработки серных месторождений Предкарпатья по геофизическим данным // Геофизические исследования в гидрогеологии и инженерной геологии: Тр. ГИДРОИНГЕО. - Ташкент: САИТИС, 1991. - С. 81-84.

63. Тарасов Б.Г., Кузьменко Э.Д. О роли геоэлектрического магнетизма

в процессе эволюции Земли // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. - М.: 1991. - N 7. - С.110-118.

64. Кузьменко Э.Д., Кобрунов А.И., Петрик Л.А., Станкин А.В. Определение геометрических характеристик локальных неоднородностей по измерениям электрического поля // Геофизический журнал. - АН Украины, 1991. - Т.13. - N 4. - С.49-56.

65. Кузьменко Э.Д. Картирование фильтрационных потоков методом естественного поля // Применение геофизических методов для решения геовологических задач: Сб. науч. тр. - М.: ВСЕГЕИ ГЕО, 1991. - С.88-96.

66. Кузьменко Э.Д. Гидрогеологическое районирование серных месторождений Предкарпатья // Гез. докл. науч.-техн. конференции Ивано-Франковского ин-та нефти и газа, - Ивано-Франковск; ИФИНГ, 1992. - С.65.

67. Кузьменко Э.Д. К вопросу моделирования динамических геофильтрационных систем // Материалы международного семинара "Прикладные проблемы моделирования и оптимизации". - Сб. науч. тр. Отв. ред. В.Л.Волкович, Ю.П.Яценко. - Киев, 1-6 марта 1992. - С.148-149.

68. Кузьменко Э.Д., Станкин А.В. Построение геофильтрационных моделей неоднородной среды // Материалы международного семинара "Прикладные проблемы моделирования и оптимизации". - Сб. науч. тр. Отв. ред. В.Л.Волкович, Ю.П.Яценко. - Киев, 1-6 марта 1992. - С.150-151.

С.Д.

Подписано к печати 25.04.64 г., ф. 60 x 84,
№16, зак. 95, печ. листа 2, тираж 120.

Ивано-Франковский институт нефти и газа.

Участок опер. «ИЖО» пологр. жи, Карпатская 15

457062

AB 30.048

AB 30.048