

**МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ УЗБЕКСКОЙ ССР  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «УЗБЕКГИДРОГЕОЛОГИЯ»  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ  
(ГИДРОИНГЕО)**

Для служебного пользования

Экз. № 99

На правах рукописи

*Сойфер Анатолий Маркович*

УДК 556.3: 626.8

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
РАЗВИТИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ  
МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ  
В АРИДНЫХ ОБЛАСТЯХ**

**Специальность 04.00.06 — гидрогеология**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук

**ТАШКЕНТ 1987**

Халдару Игамбардыевичу Якубову  
с глубоким уважением.  
19.02.87

Работа выполнена во Всесоюзном Государственном ордена Трудового Красного Знамени головном проектно-изыскательском и научно-исследовательском институте по проектированию водохозяйственных и мелиоративных объектов «Союзгипроводхоз» им. Е. Е. Алексеевского Всесоюзного объединения «Союзводпроект» Минводхоза СССР

Официальные оппоненты:

Доктор геолого-минералогических наук, профессор

И. К. Гавич

Доктор геолого-минералогических наук

И. В. Зеленин

Доктор технических наук, профессор

А. А. Рачинский

Ведущая организация: Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии «ВСЕГИНГЕО» Министерства геологии СССР.

Защита состоится « » 1987 года на заседании специализированного совета Д 071.01.01 по защите диссертаций и присуждению ученой степени доктора наук при Институте гидрогеологии и инженерной геологии «Гидроинггео» П/О «Узбекгидрогеология» Министерства геологии УзССР.

Адрес института: 700041, Ташкент, ул. Морозова, 64. С диссертацией можно ознакомиться в институте «Гидроинггео».

Автореферат разослан « » 1987 года

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
доктор медицинских наук

Р. А. Якубова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Долговременная программа мелиорации земель в СССР, получившая дальнейшее развитие в решениях XXVII съезда КПСС, предопределяет интенсификацию орошаемого земледелия и значительное ускорение научно-технического прогресса на основе реконструкции и модернизации ранее построенных мелиоративных систем и нового мелиоративного строительства. К 2000 году устойчивые урожаи сельхозкультур должны быть получены не менее, чем с 30 млн. га орошаемых земель, что примерно в 1,5 раза превышает площади орошения 1985 года и в 3 раза — 1965 года.

Вместе с тем, основное современное направление развития орошаемого земледелия — его интенсификация и, в частности, реконструкция мелиоративных систем, направленная на более рациональное использование водных ресурсов и сельскохозяйственных земель. Известно, что в настоящее время около 1/3 оросительных систем (по площади) требует реконструкции, до 3 млн. га — в той или иной мере — в неблагоприятном мелиоративном состоянии, причем чаще всего под влиянием гидрогеологических факторов — подъема уровня грунтовых вод и недостаточно эффективной работы горизонтального дренажа.

Это положение требует принципиальной перестройки методологии мелиоративно-гидрогеологических исследований, исходя из необходимости их направленности прежде всего на изучение действующих объектов орошения и использование накопленного опыта для значительного повышения эффективности и надежности инженерных решений по развитию и интенсификации орошаемого земледелия. Глубокое научное и производственное гидрогеологическое обоснование является первоосновой успешного решения этой важной народнохозяйственной проблемы, что и предопределило соответствующую направленность диссертационной работы.

Цели и задачи работы. Основной целью являлась разработка теоретических и методических основ, практических рекомендаций по гидрогеологическому обоснованию развития и реконструкции мелиоративных систем в аридных областях на основе обобщения ранее выполненных исследований в этой области и собственных исследований автора. При этом оказалось необходимым решение следующих задач:

1. Обобщить методические основы и принципы перехода от качественного районирования природных объектов к количественной (геофильтрационной) схематизации с учетом особенностей гидрогеологических условий и поставленных инженерных задач.

2. Разработать методы прогнозных гидрогеологических расчетов режима грунтовых вод в зоне влияния мелиоративного дренажа применительно к реальным условиям неравномерной инфильтрации, а также прогнозной оценки качества подземных

и дренажных вод с точки зрения обоснования постановки и необходимости детальности гидрогеологических исследований.

3. Провести гидрогеологические исследования на действующих системах, обосновать и разработать соответствующие методы **опытно-фильтрационных наблюдений** для определения гидродинамического несовершенства дренажа, инфильтрационного питания при орошении, гидрогеологических параметров водоносного комплекса (без применения традиционных опытно-фильтрационных работ), а также рассмотреть вопросы анализа гидрохимических наблюдений для оценки расчетных параметров гидрохимических прогнозов.

4. Разработать методы обоснования рационального комплекса гидрогеологических исследований, их постановки и обобщения результатов для развивающихся мелиоративных систем с учетом направленности этих исследований на обоснование конкретных инженерных решений в области оросительных мелиораций.

**Научная новизна работы.** Научная новизна заключается в разработке автором ряда новых теоретических и методических положений мелиоративно-гидрогеологических исследований; основными из них являются следующие положения:

1. При обосновании методов исследований и прогнозирования техногенно-гидрогеологических условий объектов мелиорации показана эффективность применения принципа обратной связи и, в частности, **анализа данных наблюдений на действующих системах** для оценки гидродинамического несовершенства дренажа, динамики инфильтрационного питания при орошении, прогнозных геофильтрационных и гидрохимических параметров пород зоны аэрации в условиях водонасыщения, а также исследования тестовых моделей типовых геофильтрационных схем дренажа для целенаправленной постановки гидрогеологических исследований.

2. На основе исследования закономерностей инфильтрационного питания при орошении и различных типах дренажа установлена необходимость учета реальной неравномерности инфильтрации (по профилю и во времени); исходя из этих положений, теоретически обоснованы методы геофильтрационных и гидрохимических прогнозов режима подземных и дренажных вод. В основу гидрохимических прогнозов положены представления о закономерностях **динамики концентрации инфильтрационного потока** и расчетных моделях, соответствующих реальным гидрогеологическим условиям.

3. На базе теоретических, экспериментальных исследований и полевых наблюдений разработаны научно-методические основы гидрогеологических исследований на действующих мелиоративных системах, включающих, наряду с известными положениями региональной оценки закономерностей формирования гидрогеологических условий, предложенные автором методы специальной гидродинамической съемки, постановки и интерпретации опытно-

фильтрационных и гидрохимических наблюдений, а также систематизацию гидрогеологических фрагментов для выбора аналогов.

4. Обоснованы принципы постановки, методы обобщения результатов гидрогеологической разведки и опробования на объектах развития орошения, комплексирования прямых и косвенных методов опробования (различного уровня значимости) для решения определенных инженерных задач и оценки достоверности гидрогеологических параметров расчетных схем мелиоративного дренажа.

**Методы исследований.** Основные методы исследований:

— обобщение результатов ранее проведенных теоретических, экспериментальных и натурных исследований; — изучение закономерностей формирования гидрогеологических условий при орошении в Голодной степи и на других характерных объектах, исследование действующих систем мелиоративного дренажа и каналов; — теоретические и экспериментальные (методами моделирования) исследования, необходимые для разработки гидрогеологических основ развития и реконструкции мелиоративных систем.

**Практическая значимость работы.** Практические приложения результатов исследований, представленных в диссертационной работе, на объектах в Средней Азии, Европейской части СССР и за рубежом, показали их эффективность с точки зрения значительного повышения надежности гидрогеологического обоснования оросительных мелиораций, а также возможности снижения стоимости как собственно гидрогеологических исследований, так и мелиоративного строительства.

**Реализация работы.** Результаты выполненных исследований непосредственно использованы при разработке ТЭО и проектов развития орошения Джизакской степи, Дальверзинской степи, II очереди Ташканала, междуречья Волга-Урал, Аштской степи, пампасов Ольмос (Перу), отраслевых и бассейновых схем.

Представленная работа рекомендована В/О «Союзводпроект» в качестве пособия для специалистов — гидрогеологов проектно-изыскательских институтов объединения. Практические рекомендации работы включены в ВСН-33-21-0585.

Экономический эффект внедрений — 1,2 млн. рублей.

**Апробация работы.** Основные результаты и отдельные аспекты работы докладывались или публиковались и обсуждались на следующих всесоюзных и международных совещаниях, семинарах, конференциях, конгрессах, симпозиумах: международный семинар «Гидрогеологические исследования для орошаемого земледелия», Ташкент, 1968 г.; всесоюзные совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии 1968, 1972, 1976, 1980 гг.; международный конгресс по ирригации и дренажу, Москва, 1975 г.; международные геологические конгрессы 1975, 1984 гг.; семина-

ры секции «Гидрогеология» Московского общества испытателей природы, 1975, 1978, 1985 гг.; симпозиум «Моделирование — 75», США; совещание «Методы и средства решения краевых задач», Рига, 1975 г.; IV национальный конгресс гражданских инженеров Перу, 1980 г.; совещание «Современные методы инженерных изысканий для целей мелиорации», Душанбе, 1984 г.; Всесоюзный научный семинар по использованию подземных вод на орошение, Баку, 1986 г. Результаты работы также докладывались на научно-технических советах Специализированного отделения по изысканиям и исследованиям, института «Союзгипроводхоз», В/О «Союзводпроект», институтов ВСЕГИНГЕО, САНИИРИ, Средазгипроводхлопок.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 46 работ, из них одна монография, написанная самостоятельно и 1 — в соавторстве, а также получено 1 авторское свидетельство.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения на 303 страницах машинописного текста; включает 56 рисунков, 14 таблиц, список использованной литературы из 360 наименований, список фондовых материалов из 56 наименований.

Работа выполнена по материалам производственных изысканий и исследований, проведенных автором или под его руководством в институтах Средазгипроводхлопок, Союзгипроводхоз, в Специализированном отделении по изысканиям и исследованиям, а также научно-исследовательских работ в институте «Союзгипроводхоз» по проблеме 085.06 плана ГКНТ СССР и совместных научных исследований с кафедрой гидрогеологии МГУ.

Автор приносит свою благодарность изыскателям Средазгипроводхлопка, Союзгипроводхоза и СОИЗИ за активное участие в проведении работ. Автор считает своим долгом выразить глубокую признательность профессору В. М. Шестакову, чьи ценные советы и наставления на протяжении многих лет в значительной мере способствовали успешному завершению проведенных исследований, а также профессору С. Ш. Мирзаеву за помощь и поддержку при разработке диссертации.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Часть I.** Основные проблемы теории и практики гидрогеологических исследований на объектах ирригации.

**Глава 1.** Проблемы мелиоративной гидрогеологии в связи с развитием орошаемого земледелия в СССР.

В диссертационной работе, с учетом ее направленности, рассмотрены особенности и проблемы развития оросительных мелиораций, а также связанные с ними задачи разработки теоретических основ и практических методов мелиоративно-гидрогеологических исследований.

1.1. Важнейшей современной проблемой мелиоративной гидрогеологии является развитие методологии исследования действующих оросительных систем. Традиционные методы гидрогеологической разведки и опробования направлены на изучение среды и не обеспечивают получение необходимой информации по взаимодействию мелиоративных систем и подземных вод. Поэтому необходима разработка принципиально нового подхода, включающего, наряду с региональным анализом закономерностей формирования техногенно-гидрогеологических условий с развитием оросительных мелиораций, схематизацию гидрогеологических условий, направленную на обоснование определенных технических решений, применение новых методов гидрогеологических исследований на действующих системах, используемых в качестве аналогов.

1.2. Опыт развития оросительных мелиораций свидетельствует о необходимости учета емкости и проводимости водоносного комплекса при решении задач регулирования и рационального использования водных ресурсов. Для многих построенных объектов ирригации инженерными решениями предопределялся подъем уровня грунтовых вод с последующим вводом дренажа. Это в свою очередь предопределило значительные потери воды на заполнение емкости мощной зоны аэрации, засоление подземных вод с приближением их уровня к поверхности земли и сброс за пределы массива (чаще обратно в водоисточник) дренажных вод плохого качества. Используя известные теоретические и методические разработки в этой области (С. Ш. Мирзаев, 1974 и др.), целесообразно пересмотреть подход к постановке гидрогеологических прогнозов, ориентируя их в соответствующих условиях не на прогноз подъема уровня грунтовых вод, а на оценку возможности возврата инфильтрационных потерь и регулирование емкости бассейна подземных вод на основе создания контурных или площадных систем дренажно-водозаборных скважин, что также создает дополнительные возможности оптимального решения проблемы сохранения качества водных ресурсов и охраны окружающей среды.

1.4. Развитие методов гидрогеологических исследований на новых и развивающихся объектах орошения связано с необходимостью целенаправленного проведения исследований для решения определенных инженерных задач. Известно, что из общей площади орошаемых массивов с построенным горизонтальным дренажом свыше 40% (то есть почти половина) в той или иной мере характеризуется неудовлетворительным мелиоративным состоянием. Таким образом, эффективность оросительных мелиораций в условиях применения горизонтального дренажа не представляется гарантированной; это связано, главным образом, с недостаточно целенаправленным гидрогеологическим обоснованием дренажа, неопределенностью мелиоративных критериев

Оценки  
средств

дренирования, а также недостаточным техническим уровнем строительства и эксплуатации мелиоративных систем. Следовательно, наиболее эффективный путь гидрогеологического обоснования рациональных мелиоративных режимов и методов дренирования — исследование действующих объектов орошения в данных или аналогичных природно-хозяйственных условиях. Так же как, например, в рудничной гидрогеологии невозможна постановка прогнозных расчетов водопритока без учета особенностей горных выработок, в мелиоративной гидрогеологии необходим обстоятельный анализ условий взаимодействия сооружений с подземными водами и водовмещающей средой, оценка их гидродинамического несовершенства, исследование динамики источника питания грунтовых вод — инфильтрации при орошении в определенных технологических условиях, установление взаимосвязи с основным «выходом» почвенно-мелиоративных исследований — критериями дренирования (И. П. Айдаров, 1985). Необходима постановка и интерпретация гидрогеологических исследований, в частности, разведки, опытно-фильтрационных работ и наблюдений с широким применением принципа обратной связи на основе использования данных натурных наблюдений на действующих системах и анализа тестовых моделей типовых гидрогеологических фрагментов, особенно нестандартных расчетных схем, для выявления гидродинамической роли отдельных элементов расчетной схемы, с последующим обоснованием детальности исследований, рационального комплекса методов опробования (прямых и косвенных) и учетом заданной достоверности результатов решения поставленной инженерной задачи.

## Глава 2. Анализ характерных особенностей формирования гидрогеологических условий объектов ирригации.

Исследованиям закономерностей формирования гидрогеологических условий на объектах ирригации в аридных областях нашей страны посвящены многочисленные работы ученых и специалистов-практиков. Среди них необходимо отметить работы Г. И. Архангельского, М. М. Крылова, О. К. Ланге, Н. Н. Ходжибаева, М. А. Шмидта, а также работы М. С. Алимова, Э. Г. Ваксмана, В. А. Гейнца, Г. Н. Каменского, Д. М. Каца, Н. А. Кенесарина, Л. А. Красильщикова, Э. В. Мавлянова, А. А. Маккавеева, С. Ш. Мирзаева, Б. Я. Неймана, П. А. Панкратова, Ю. Г. Планина, М. М. Решеткина, Н. В. Роговской, В. Г. Самойленко, И. С. Скабаллановича, А. М. Сойфера, Р. Г. Ткачук, А. С. Хасанова и многих других. Характерные особенности мелиоративно-гидрогеологических условий обобщены и систематизированы в работах Д. М. Каца, Н. В. Роговской, Н. Н. Ходжибаева и других. Анализ этих обобщений и результатов проведенных гидрогеологических исследований показал следующее. Объекты современного и перспективного развития ирригации распространены на различные

регионы, отличающиеся по климатическим, геолого-структурным, геоморфологическим условиям. Вместе с тем, среди этого разнообразия выделяются по особенностям формирования и развития подземных вод, а также влияния орошения несколько характерных типов гидрогеологических условий:

- 1) предгорных шлейфов (в предгорных и межгорных впадинах);
- 2) долин крупных рек;
- 3) водораздельных равнин междуречий;
- 4) субазральных дельт;
- 5) морских равнин.

В диссертационной работе рассматриваются особенности формирования техногенно-гидрогеологических условий в этих случаях, возможности использования подземных вод с учетом нового интенсивного источника питания — орошения. При этом с точки зрения обоснования и постановки прогнозных гидрогеологических задач решающее значение имеют такие гидродинамические особенности объекта, как наличие (или отсутствие) в разрезе водоносного комплекса над региональным водоупором пластов высокой проводимости и выраженных по свободной (или пьезометрической) поверхности потоков подземных вод. Определяя характер гидродинамической постановки прогнозных задач, целесообразно выделять, по крайней мере, три разновидности гидрогеологических условий (35), которые, в общем, соответствуют известным предложениям М. М. Крылова по классификации типов режима грунтовых вод:

а) стоковые условия, характеризующиеся хорошо выраженными геофильтрационными потоками, развитыми от областей питания до базисов подземного стока, с наличием в разрезе пластов высокой проводимости ( $T \geq 200-500 \text{ м}^2/\text{сут}$ );

б) инфильтрационно-стоковые условия, для которых характерно преобладание местного питания подземных вод, геофильтрационные потоки по характеру свободной (или пьезометрической) поверхности не прослеживаются, тем не менее в разрезе водоносного комплекса отмечается развитие пластов высокой проводимости, что предопределяет возможность искусственного создания геофильтрационных потоков мощными источниками «возмущения»;

в) инфильтрационные условия, отличающиеся от инфильтрационно-стоковых отсутствием в разрезе пластов высокой проводимости.

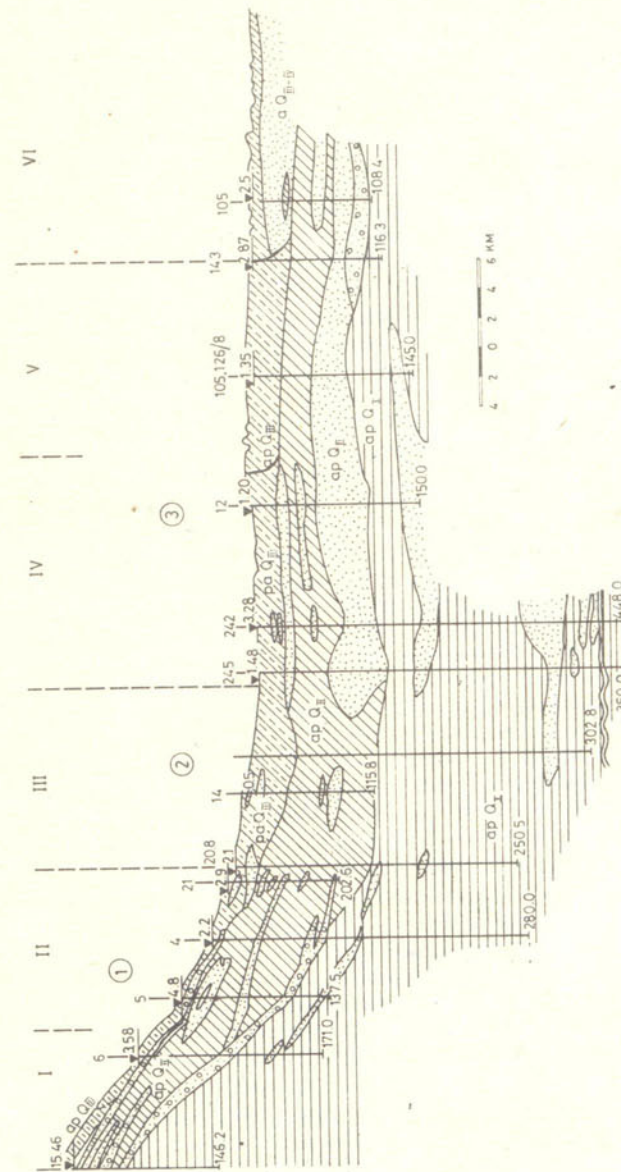
Исходя из известных закономерностей формирования гидрогеологических условий в районах современного и перспективного развития ирригации, можно констатировать, что стоковые условия характерны для наклонных предгорных шлейфов (рис. 2.1), межгорных впадин, террасированных долин крупных рек, эстуариев, то есть, преимущественно, для орошенных областей с интенсивной денудацией и осадконакоплением. В свою очередь, инфиль-

традиционно-стоковые и инфильтрационные условия характерны для глубокой периферии предгорных шлейфов (рис. 2.1), водораздельных равнин, нетеррасированных долин крупных рек (рис. 2.1) в среднем и нижнем течении, слабо выраженных в рельефе впадин (рис. 2.1), в том числе плоских впадин в низкогорьях и мелкосопочниках, и для других областей, существенной особенностью которых является отсутствие значительных внешних источников питания и выраженного базиса стока.

**Глава 3. Обоснование принципов схематизации гидрогеологических условий.**

**Мелиоративно-гидрогеологическое районирование.** Научно-методические основы мелиоративно-гидрогеологического районирования разработаны Д. М. Кацем, М. М. Крыловым, О. К. Ланге, Н. В. Роговской, Р. Г. Ткачук, Н. Н. Ходжибаевым, М. А. Шмидтом. Отдельные аспекты решения этой задачи исследовали также В. А. Барон, В. А. Гейнц, С. Ш. Мирзаев, Л. А. Островский, А. А. Рачинский, Н. М. Решеткина и другие, в том числе автор (13,28,35). Сложившиеся представления о мелиоративно-гидрогеологическом районировании основаны на большом опыте изучения объектов орошения и разносторонних теоретических исследованиях. Следует, однако, отметить, что во многих случаях остаются недостаточно исследованными технологические особенности изучаемого объекта оросительных мелиораций, хотя они в значительной мере определяют формирование техногенно-гидрогеологических условий. С этой точки зрения наиболее важным представляется отражение на карте районирования основных элементов оросительной системы и оценка гидродинамической роли искусственных источников питания подземных вод, действующих водозаборов и дренажа.

**Геофильтрационная схематизация.** Исследования в области количественной гидрогеологической схематизации объектов орошения, направленной на обоснование прогнозных расчетов, активно развиваются, начиная с 60-х годов. Основные теоретические положения по обоснованию региональных прогнозов были представлены в работе И. С. Пашковского и В. М. Шестакова (1968), по учету вертикальной неоднородности строения потока в расчетных схемах дренажа — в работах В. М. Шестакова (1965, 1966, 1969), принципы районирования массивов орошения по литолого-фильтрационным условиям — в кандидатской диссертации В. Г. Самойленко (1965), по типовым фильтрационным схемам — в работе (4). Научно-методические основы геофильтрационной схематизации орошаемых массивов заложены в работе В. М. Шестакова и автора (8). Развитию этого направления исследований в значительной мере способствовали также работы И. К. Гавич и В. М. Шестакова (1975), Л. Лункера и В. М. Шестакова (1976), Н. Н. Ходжибаева и В. Г. Самойленко (1976), И. К. Гавич (1980, 1984), В. А. Барона и др. (1981), А. Я. Олейника (1981), а также



работы (29, 30) и другие. Обобщение результатов этих исследований позволяет обосновать принципы количественной гидрогеологической схематизации объектов оросительных мелиораций.

В соответствии с постановкой прогнозных расчетов, следует выделить, по крайней мере, два типа фильтрационных схем, различающихся по масштабности рассматриваемых задач: региональные и локальные (9).

**Региональные геофильтрационные схемы.** Построение региональной схемы целесообразно для стоковых или инфильтрационно-стоковых условий на основе карты проводимостей водоносного комплекса до регионального водоупора с отражением внешних и внутренних гидродинамических границ. При этом рационально приведение неоднородной толщи к пласту эквивалентной проводимости  $T_0$  с напорами  $H_0$  (9). На региональную схему целесообразно вынести разбивку намечаемой модели объекта, что позволяет отражать внутренние границы II рода (инфильтрация, испарение, водозаборы и др.), обобщенные по каждому блоку. При построении региональной схемы во многих случаях оказывается необходимым обоснование и исследование ряда фрагментных (плановых, профильных) обратных и эпигнозных задач для обоснования интерполяции (экстраполяции) величин параметров, установленных, как правило, для весьма ограниченного числа блоков. Методы реализации на плановой модели элементов мелиоративной системы (каналов, дрен, скважин) достаточно подробно рассмотрены в литературе, в частности, в работе И. Е. Жернова, В. М. Шестакова (1971). Вместе с тем, учет линейного систематического дренажа (в частности, горизонтального), как внутренней границы III рода, целесообразно осуществлять таким образом, чтобы уже на стадии региональной модели ориентировочно оценить рациональные междренные расстояния ( $L$ ). Для этого автором рекомендуется реализовать интегральное среднее значение напора для определенного междренья и заданного напора в средней его части (35).

**Локальные геофильтрационные схемы.** Построение локальных схем необходимо при обосновании прогнозных гидрогеологических расчетов, связанных с осуществлением конкретных инженерных мероприятий (каналов, водозаборов, дренажа и др.). Поэтому необходимо отметить нерациональность построения локальных схем «вообще», без привязки к обоснованию определенной инженерной задачи. В диссертационной работе рассмотрены основные принципы решения этой задачи при обосновании расчетных схем мелиоративного дренажа. В этом случае размеры области геофильтрации (зона влияния дрены) сравнительно невелики и гидродинамическое действие дренажа, в основном, определяется вертикальной неоднородностью строения потока и условиями питания подземных вод. Практически основным фактором, определяющим выбор типа дренажа и эффективность его действия, является наличие в раз-

резе хорошо проницаемых водоносных пластов. Вместе с тем, при обосновании горизонтального (или комбинированного) дренажа большое значение имеет проницаемость непосредственно слоя, в который заложена дрена. В частности, если дрена попадает в прослой песка или прослой глин, расчетные междренные расстояния могут отличаться в десятки раз (8).

Результаты геофильтрационной схематизации целесообразно отображать в виде специального районирования, которое в некоторых случаях может быть совмещено с картами мелиоративно-гидрогеологического районирования. Это, в частности, относится к случаю мелкомасштабного районирования, необходимого для обоснования бассейновых схем развития оросительных мелиораций, в которых оценивается принципиальная необходимость и возможность искусственного дренирования, а также рациональные типы дренажа (28).

В случаях крупномасштабного районирования по типовым геофильтрационным схемам необходимая детальность отражения количественных показателей требует составления отдельных карт водоносных пластов, а в случаях обоснования горизонтального дренажа — также картирования покровных отложений на уровне горизонтального дренажа. Эффективность такого картирования показана в диссертационной работе на примере Джизакской и Каршинской степи (27). Использование карты проницаемости покровных отложений, наряду с топоосновой, при проектировании позволяет выбрать наилучший вариант размещения дренажной сети в плане.

При низкой проницаемости покровных отложений в случаях применения комбинированного дренажа собственно горизонтальная дрена часто оказывается малоэффективной и может быть заменена трубопроводом. Расчеты, проведенные автором, показали, что для приближенной оценки целесообразности такого решения можно воспользоваться следующими критерияльными соотношениями гидродинамического несовершенства горизонтального дренажа ( $L_{ng}$ ) и линии скважин — усилителей ( $L_c$ ):

при  $\frac{L_{ng}}{L_c} < 5$  — применение горизонтальной дрены эффективно,

при  $5 \leq \frac{L_{ng}}{L_c} \leq 10$  — рациональный тип комбинированного дренажа должен быть обоснован экономическим расчетом,

при  $\frac{L_{ng}}{L_c} > 10$  — целесообразно применение закрытого трубопровода.

В случаях существенной неоднородности строения покровных отложений возникает необходимость анализа стохастической модели, то есть установления вероятности вскрытия дреной того или иного прослоя и изменчивости его мощности. Известно, например, для Джизакской степи (И. С. Пашковский, В. М. Шестаков,

1968) и Голодной степи (А. М. Сойфер, 1971), что распределение этих показателей хорошо описывается теоретической кривой распределения Пуассона.

#### Глава 4. Обобщение и разработка методов гидрогеологических прогнозных расчетов в связи с мелиоративным строительством.

Методам прогнозных мелиоративно-гидрогеологических расчетов посвящено большое количество исследований. Среди них необходимо отметить работы Ф. Б. Абуталиева, С. Ф. Аверьянова, В. И. Аравина, В. А. Барона, Н. Н. Веригина, И. К. Гавич, Л. К. Гохберга, И. Е. Жернова, В. С. Зильберга, Г. Н. Каменского, И. И. Крашина, Е. А. Ломакина, В. И. Лялько, В. А. Мироненко, И. С. Пашковского, Д. И. Пересунько, В. К. Рудакова, А. Б. Ситникова, И. А. Сорокиной, В. Е. Шаманского, В. М. Шестакова, А. И. Шмакова, Д. Ф. Шульгина и многие другие.

В зарубежной литературе также уделяется значительное внимание прогнозным расчетам и методам моделирования, в частности, в работах Х. Бауэра, Я. Бэра, Де Виста, Л. Лукнера, С. Ньюмана, Т. Прикета и Д. Лонквиста, Х. Раштона, Д. Ремсона, Д. Хорнберга и Ф. Молса, И. Рубина, Р. Томаса, Д. Филлипа, А. Фриза.

Проведенными исследованиями созданы фундаментальные теоретические и методологические основы прогнозных гидрогеологических расчетов и, в частности, математического моделирования. Поэтому задачей последующих работ является, главным образом, разработка методов прогнозных расчетов применительно к определенным задачам мелиоративной гидрогеологии, обоснование моделей прогнозируемых процессов и методов реализации прогнозных задач.

В частности, наиболее широкий комплекс задач характерен для стоковых гидрогеологических условий, к которым чаще всего приурочены объекты орошения (глава 2). При этом представляется рациональной следующая система моделей мелиоративно-гидрогеологических условий:

##### I. Региональные модели

I.1. Региональная гидрогеологическая модель (геофильтрационная схема), являющаяся основой, а затем результатом исследования математической модели.

I.2. Региональная математическая модель мелиоративно-гидрогеологических условий, исследование которой включает собственно построение модели на основе I.1, решение эпигнозных и прогнозных задач, построение модели региональных гидрохимических прогнозов и обоснование постановки последующих гидрогеологических исследований (И. К. Гавич, 1980).

I.3. Региональная гидрогеологическая модель (аналог) разрабатывается для действующего объекта орошения, аналогичного по природно-техногенным условиям, для сопоставительного анализа.

##### II. Локальные модели.

II.1. Локальные гидрогеологические модели — геофильтрационные схемы дренажа, каналов, водохранилищ и другие модели прогнозных расчетов.

##### II.2. Локальные математические модели:

— фрагментарные модели для обоснования региональной геофильтрационной схемы;

— локальные модели для обоснования конкретных инженерных решений по ирригации, дренажу и охране окружающей среды;

— тестовые модели для исследования отдельных нестандартных расчетных схем.

II.3. Локальные гидрогеологические модели (аналоги), предназначенные для использования принципа обратной связи при постановке и интерпретации мелиоративно-гидрогеологических исследований.

При построении региональных математических моделей геофильтрации представляется бесперспективным создание сложных универсальных моделей и целесообразным тщательный поиск путей их упрощения на основе геофильтрационной схематизации. Усложнение модели приводит к повышению уровня требований к исходной информации, которые реально не могут быть выполнены, и, в конечном счете, к многочисленным произвольным допущениям, погрешность которых чаще всего не может быть выявлена (31). Поэтому представляется рациональной постановка мелиоративно-гидрогеологических прогнозов на основе создания постоянно-действующей модели (ПДМ) объекта (Л. К. Гохберг, В. А. Племенов, 1973; Л. Лукнер, В. М. Шестаков, 1976; (31, 35)), соответствующей на каждом этапе исследований уровню гидрогеологической и водохозяйственной информации. В отличие от ПДМ, локальные модели для решения фрагментных задач различного характера целесообразно создавать средствами специализированного пакета универсальных прикладных программ (31).

Широкое внедрение методов численного моделирования не означает, однако, что применение аналогового моделирования полностью потеряло смысл и заслуживает забвения (14, 15, 17, 26). В частности, применение аналогового моделирования часто целесообразно для тестирования новых средств программного обеспечения, для исследования обратных, а также эпигнозных задач в сложных гидрогеологических условиях, для создания ПДМ отдельных крупных объектов мелиорации, удаленных от научно-производственных центров. Пример создания такой ПДМ рассмотрен, в частности, в главе 6. В ряде случаев представляется рациональным решение на аналоговых моделях нестандартных тестовых задач по обоснованию локальных расчетных схем в условиях стационарной фильтрации (5, 23).

Следует особо отметить эффективность применения анализа эпигнозных задач при обосновании региональных моделей объектов мелиорации, особенно в сложных условиях питания подземных вод. Очевидно, что исходная гидрогеологическая и водохозяйственная информация обычно характеризуется самой различной степенью достоверности и требует тщательного анализа и проверки ее «совместимости» при оценке баланса воды в узлах и более крупных элементах модели. При решении этой задачи эпигнозные исследования позволяют уточнить формирование отдельных элементов баланса подземных вод (35).

Во многих случаях возникает необходимость в решении локальных прогнозных задач, которые могут быть реализованы аналитическими методами (В. М. Шестаков, 1965, 1973; Н. Н. Ходжибаев, В. Г. Самойленко, 1976 и др.). Это относится, главным образом, к решению задач формирования инфильтрационного бугра при орошении, фильтрации из каналов и водохранилищ, расчетов мелиоративного дренажа. Следует отметить, что первые два направления достаточно подробно рассмотрены в литературе (С. Ф. Аверьянов, 1956, Н. Н. Веригин и др., 1970; П. Я. Полубаринова-Кочина, 1949, 1974; В. К. Рудаков, 1969, 1971; В. М. Шестаков, 1979 и др.). Теоретические основы расчетов мелиоративного дренажа разработаны С. Ф. Аверьяновым (1957, 1966), А. Я. Олейником (1978, 1981), В. М. Шестаковым (1965, 1966, 1973), В. С. Усенко (1968); методы расчетов дренажа также рассматривались в работах В. К. Белякова, Н. Н. Веригина, А. И. Голованова, С. В. Ковальчука, В. П. Насикова, И. С. Пашковского, В. В. Романова, В. Я. Шапрана, В. И. Эмиха, Д. Дагана, Х. Хаммада, Д. Киркхема, Т. Хинесли, Ш. Шилфгаарде и других исследователей, в том числе автора (2, 10, 16, 18, 23, 24, 27, 35).

Дальнейшим развитием этого направления исследований является разработка методов расчетов дренажа с учетом реальных условий формирования инфильтрационного питания при орошении. Например, при обосновании расчетных схем долгосрочных гидрохимических прогнозов внутригодовые флуктуации инфильтрационного питания осредняются во времени; однако в этом случае необходимо учитывать неравномерность питания по профилю, связанную с различным положением уровня грунтовых вод.

Решение этой задачи, полученное автором для различных типов дренажа (18), показывает, что в двухслойном пласте инфильтрационное питание вблизи дрены и в середине междренья может отличаться в 5—10 раз, а в однородном пласте в 3—6 раз. Еще более существенной оказывается неравномерность инфильтрации при промывках и поливах напуском. Анализ данных многочисленных натурных наблюдений (В. С. Макарова, Р. М. Нешумов, 1972; В. М. Шестаков, Е. К. Широкова, 1976 и другие) показывает, что инфильтрация в зоне влияния дрены может отличаться в 10—20 раз. При этом зависимость  $W(X)$  удовлетворительно описывается выражением:

$$W(X) = W_0 \left[ 1 - \frac{\lg X}{\lg X_0} \right] \quad (4-1)$$

где  $W_0$  — интенсивность инфильтрации вблизи дрены ( $x=1$  м);  $X_0$  — отрезок, отсекаемый графиком  $W=f(lqX)$  на оси  $x$ .

При обосновании прогнозных расчетов водно-солевого режима при орошении представляет значительный интерес анализ динамики уровня грунтовых вод на междренья (которая следует повторяющимся циклам «полив-межполивный период») за время, соответствующее вегетации и наиболее активному воздействию испарения и транспирации на расходование влаги.

Решение этой задачи при расчете нестационарной фильтрации к горизонтальным дренам методом суперпозиции (В. М. Шестаков, 1965, 1973; (10)) оказывается достаточно сложным для анализа и поэтому целесообразен поиск более простых построений. В диссертационной работе показано, что при квазистационарном режиме в конце полива расчетное значение напора  $h_p$  в середине междренья в момент времени  $t_p$  межполивного периода можно найти по зависимости:

$$h_p = \frac{W_0 L^2}{4T} (0.4 + 2\bar{\gamma}_g) e^{\bar{\gamma}_g^2 \tau_p} - \frac{L^2 \bar{W}_u}{4T \bar{\gamma}_i^2} \quad (4-2)$$

где  $\bar{\gamma}_p = \frac{4at_p}{L^2}$ ,

$\bar{W}_u$  — средняя интенсивность испарения и транспирации,  $\bar{\gamma}_i$  — параметр, зависящий от несовершенства дренажа и строения водоносного комплекса (В. М. Шестаков, 1965; (3)).

Зависимость (4-2) может быть также использована для критериальной оценки эффективности дренажа в тех случаях, когда по данным почвенно-мелиоративных исследований установлено расчетное время  $t_p$  сработки уровня грунтовых вод до глубины  $Z_p$  из условий поддержания благоприятного мелиоративного режима.

При этом расчетное значение напора для условий стационарной фильтрации (в среднем за вегетацию) можно найти по зависимости:

$$h = \frac{W}{W_0} e^{\bar{\gamma}_i^2 \tau_p} [h_p + \frac{L^2 \bar{W}_u}{4T \bar{\gamma}_i^2}] \quad (4-3)$$

где  $W$  — расчетная инфильтрация в среднем за вегетационный период.

В случаях применения вертикального дренажа чаще всего создаются условия автоморфного режима, когда незначительные внутригодовые флуктуации уровня грунтовых вод не оказывают влияния на формирование мелиоративно-гидрогеологических условий (В. М. Шестаков, 1965; В. С. Усенко, 1968; (24)). Поэтому

при обосновании вертикального дренажа, учитывая возможность использования дренажных вод на орошение в комплексе с поверхностными водами, одним из основных расчетных параметров является дебит системы, оценку которого необходимо производить с той же достоверностью, что и оценку ресурсов поверхностных вод для орошения. В тех же случаях, когда уровень грунтовых вод в зоне влияния вертикального дренажа предполагается на глубинах ближе 3—5 м, так же как и в ранее рассмотренном случае линейного систематического дренажа, необходим учет неравномерности инфильтрации в зоне влияния дрены (18).

При наличии в разрезе водоносного комплекса пласта высокой водопроницаемости, применение вертикального дренажа часто сдерживается развитием относительно водоупорных разделяющих прослоев (рис. 4.1а). В этих случаях возможности вертикального дренажа могут быть значительно расширены применением вертикального сбросного дренажа с усилителями перетекания (И. Е. Жернов, 1973; (16, 27)). Такое решение представляется наиболее гибким по сравнению с другими типами дренажа с точки зрения возможностей управления регулированием уровня грунтовых вод за счет изменения количества усилителей или интенсивности откачки. Методика расчета этого типа дренажа и оценка его эффективности показаны, в частности, в работе (16).

Например, для случая, когда пьезометрический уровень нижнего пласта ниже кровли разделяющего слоя, при радиусе усилителя  $r_c = 0,5$  м (скважина с песчано-гравийной обсыпкой и фильтром  $d \approx 3''$ ) характер зависимости  $h_r \sqrt{\frac{4K_1}{W}} = f\left(\frac{\sigma}{Vn}\right)$  иллюстрируется графиком на рис. 4.1б.

Здесь:  $K_1$  — проницаемость отложений верхнего слоя (рис. 4.1а),  
 $\sigma$  — шаг скважин вертикального дренажа в нижнем пласте,  
 $n$  — количество усилителей перетекания,  
 $h_r$  — уровень грунтовых вод на контуре зоны влияния усилителя.

Рассмотренные вопросы теории геофильтрационных расчетов мелиоративного дренажа в условиях реально неравномерного питания представляют интерес с точки зрения обоснования расчетных схем гидрохимических прогнозов, а также целенаправленной постановки гидрогеологических исследований для решения определенных инженерных задач.

**Прогнозная оценка гидрохимического режима и качества подземных и дренажных вод.** Теоретические основы этого направления исследований разработаны С. Ф. Аверьяновым, Н. Н. Веригиным, В. М. Шестаковым. Среди исследований в области прогноза гидрохимического режима подземных вод при орошении необходимо также отметить работы В. А. Барона, Г. Н. Каменского, Л. Я. Колтун, В. И. Лаврика, Р. М. Машарипова, Н. И. Парфеновой, Л. М. Рекса, А. А. Рошала, В. Г. Самойленко, Р. В. Савельевой, М. П. Чиркина, Д. Ф. Шульгина и других.

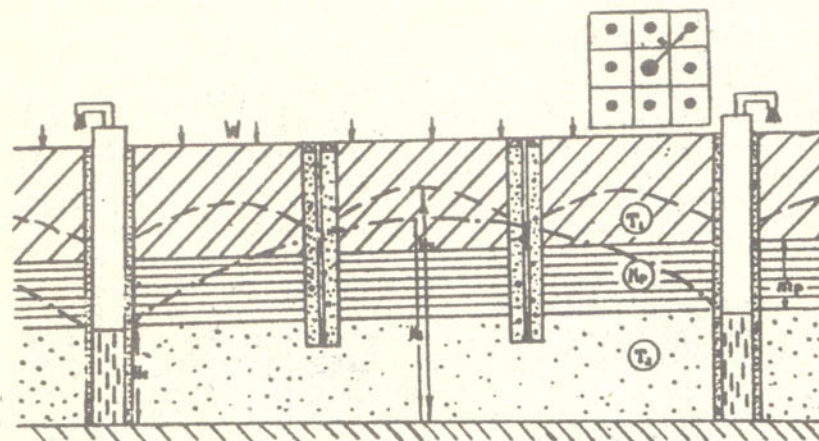


Рис. 4.1а. Схема вертикального дренажа с усилителями перетекания.

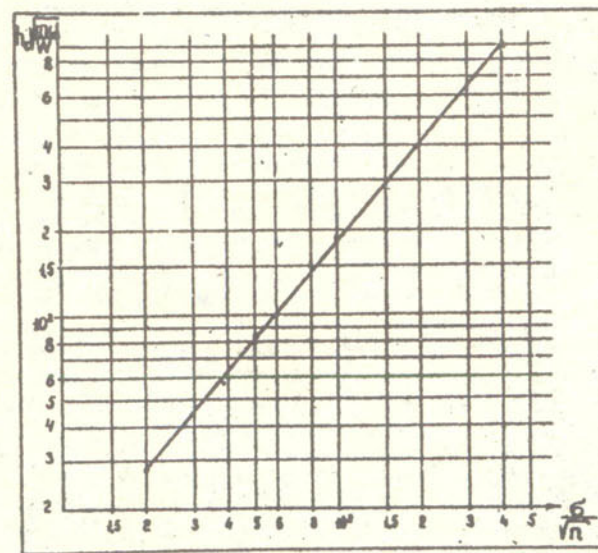


Рис. 4.1б. График зависимости  $h_r \sqrt{\frac{4K_1}{W}} = f\left(\frac{\sigma}{Vn}\right)$

В области гидрохимических прогнозных расчетов проведен ряд исследований и зарубежными учеными; в частности, следует отметить работы: Д. Бредехофта, Л. Гелхара, Л. Коникова, Т. Перкинса, Д. Томаса, Д. Филлипа. Вместе с тем, несмотря на значительное количество работ в этой области, обоснование и постановка задачи гидрохимических прогнозов остаются во многих случаях неопределенными, как с точки зрения оценки концентрации поступающих в водоносный горизонт инфильтрационных вод, так и в вопросах обоснования расчетной модели гидрохимического прогноза и, соответственно, методов полевых исследований.

Рассмотрим, прежде всего, вопросы оценки концентрации инфильтрационного потока, поступающего в водоносный горизонт. В общей постановке, решение этой задачи возможно на основе совместного рассмотрения переноса солей при поливах в зоне аэрации и в насыщенной зоне. В частности, для прогноза минерализации дренажного стока такая задача рассматривалась Л. М. Рексом (1978, 1985). Такого рода модель представляет интерес с точки зрения теоретических исследований, однако получается сложной, требующей большого объема информации, включая данные по закономерностям потребления влаги и солей растениями, обменных процессов, влагопереноса и многие другие, что практически в результате полевых исследований трудно достичь. Замена же реальных параметров априорными данными в сложных моделях может привести к трудновыявляемым ошибкам в результатах расчетов. Оценивая практическую реализацию таких моделей, нельзя не согласиться с мнением Д. Бредехофта (1976), который отмечал, что «наши возможности решить соответствующие уравнения опережают наши возможности описать физические характеристики системы подземных вод». Поэтому целесообразно построение более простых моделей, отражающих в целом физическую картину формирования гидрохимического режима и, вместе с тем, доступных для обоснования полевыми исследованиями. В частности, для обоснования прогнозных расчетов гидрохимического режима подземных и дренажных вод целесообразно по данным наблюдений за динамикой гидрохимии поровых растворов у свободной поверхности оценивать закономерности формирования концентрации инфильтрационного потока. При этом процесс постепенного рассоления целесообразно рассматривать исходя из характерного для большинства случаев гетерогенного строения зоны аэрации (В. М. Шестаков, 1973; В. М. Шестаков, А. А. Рошаль, И. С. Пашковский, 1973; А. Б. Дворкин, 1976; И. П. Айдаров, 1985 и др.). В диссертационной работе исследована гетерогенная модель солепереноса в зоне аэрации и, в частности, предложен приближенный метод решения рассматриваемой задачи для условий относительно небольшой мощности зоны аэрации и соответственно близкого

расположения точек наблюдений (по  $z$ ). С учетом конечноразностной аппроксимации по ординате, изменение концентрации инфильтрационного потока описывается уравнениями (35):

$$\left. \begin{aligned} n_z z \frac{\partial C}{\partial t} &= n_z^* (1-z) z \frac{\partial C^*}{\partial t} + (C - C_s) V \\ n_z^* \frac{\partial C}{\partial t} &= -\omega (C - C^*) \end{aligned} \right\}, \quad (4-4)$$

где  $z$  — доля макроканалов,  
 $n_z$  — эффективная пористость,  
 $C, C^*$  — концентрация раствора в макроканалах и пористых блоках,  
 $\omega$  — параметр солеобмена между макроканалами и блоками (В. М. Шестаков, 1973).

При условиях:

$$z = z_0, \quad C = C_s,$$

$C_s = C_{op} + \Delta C$ ,  $C_{op}$  — концентрация оросительной воды,  
 $\Delta C$  — накопление солей в верхнем слое почвы за межполивной период;

$$C(z, t) = C_n; \quad z = z_0, \quad C = C_n; \quad z_0 — мощность зоны аэрации;  
t_n < t < t_i, \quad C_n - C_i \ll C_i$$

решение (4-4) будет иметь вид:

$$C = C_s + (C_n - C_s) \exp[-\omega_c^* (t - t_n)], \quad (4-5)$$

где  $\omega_c^*$  — параметр стабилизации рассоления,

$$C_s = \frac{V C_s + (1-z) \omega C^*}{V + (1-z) \omega}, \quad \omega_c^* = \frac{V - (1-z) z}{n_z z} \quad (4-6)$$

Заметим, что в случае однородного строения зоны аэрации

$$z = 1, \quad C_s = C_s,$$

$$\bar{C} = \frac{C - C_s}{C_n - C_s} = \exp[-\omega_c (t - t_n)] \quad (4-7)$$

Таким образом, при решении задачи гидрохимического прогноза подземных и дренажных вод, для оценки баланса массы поступающих в пласт солей, поступление на свободную поверхность может определяться, как  $W(x, t) \cdot c_n(x, t)$ .

Одним из наиболее важных вопросов постановки прогнозных гидрохимических задач является выбор расчетной модели. В теории и практике прогнозных расчетов рассматриваются многочисленные модели (В. М. Шестаков, 1971, 1980; Ж. Фрид, 1975 и др.), анализ которых позволяет обосновать некоторые достаточно общие принципы выбора расчетной модели. Прежде всего, необходимо отметить, что для локальных (характерный

2) типовых одномерных гетерогенных моделей (или моделей макродисперсии — в зависимости от особенностей строения) для оценки  $c_m(x, y, t)$  — на нижней границе покровного слоя;

3) плановой двумерной модели качества по основному водоносному пласту.

Часть II. Разработка научно-методических основ гидрогеологических исследований для обоснования развития и реконструкции мелиоративных систем.

Глава 5. Исследования на действующих мелиоративных системах.

Общая методика гидрогеологических исследований на действующих системах орошения до настоящего времени не разработана, хотя отдельные аспекты, как будет показано ниже, изучены достаточно хорошо. Исходя из ориентации, ранее отмеченной, на изучение закономерностей формирования техногенно-гидрогеологических условий, обоснование рационального использования водных ресурсов, мероприятий по поддержанию благоприятной мелиоративной обстановки и охране окружающей среды, целесообразно выделять следующие основные направления гидрогеологических исследований:

— региональная оценка формирования мелиоративно-гидрогеологических условий;

— гидродинамический анализ работы мелиоративного дренажа;

— изучение влияния ирригационной системы на режим подземных вод;

— исследование гидрохимического режима.

Основные научно-методические положения постановки исследований, интерпретации и обобщения результатов гидрогеологических наблюдений рассматриваются в диссертационной работе, главным образом, на примере объектов орошения Голодностепской депрессии. Эти объекты можно считать достаточно представительными, поскольку они отражают разнообразные гидрогеологические условия (стоковые — Дальверзинская и Джизакская степи, инфильтрационные — Юго-западный массив, инфильтрационно-стоковые — Центральный массив и др., рис. 2.1) и, вместе с тем, детально исследованы благодаря работам М. С. Алимова, Г. Д. Антоновой, А. Х. Бродского, В. А. Гейнца, В. Г. Гафурова, Д. М. Каца, Н. А. Кенесарина, М. М. Крылова, О. К. Ланге, С. Ш. Мирзаева, Б. Я. Неймана, Н. М. Решеткиной, А. С. Хасанова, М. А. Шмидта и многих других, в том числе автора (6, 9, 27, 35).

Региональная оценка формирования мелиоративно-гидрогеологических условий.

Вопросам региональной оценки изменения гидрогеологических условий под влиянием оросительных мелиораций посвящено много работ (Д. М. Кац, С. Ш. Мирзаев, Н. В. Роговская, Н. Н. Ходжибаев и другие). Это испытанный метод исследований, позволяющий понять основные закономерности формирования

нарушенного гидрогеологического процесса, оценить обобщенные его количественные показатели, обосновать постановку локальных наблюдений за воздействием отдельных элементов ирригационной системы на подземные воды.

Рассматривая вопросы региональной оценки мелиоративно-гидрогеологических условий действующих объектов ирригации, представляется важным выделить основные методы этих исследований.

К таким методам относятся (12):

1) качественный гидрогеологический анализ;

2) балансовый анализ (водный и солевой баланс);

3) количественный гидродинамический и гидрохимический анализ.

Качественный гидрогеологический анализ позволяет установить сущность и закономерности формирования гидрогеологических условий, а следовательно, и наметить подход к построению соответствующих количественных моделей.

В диссертационной работе проанализирована динамика региональных мелиоративно-гидрогеологических условий с развитием орошения в Голодной и Дальверзинской степи; этот анализ проиллюстрирован картографическими материалами, данными наблюдений, в частности, — сопоставительными картами изменения глубин до уровня грунтовых вод на различные периоды с 1914 по 1983 год. Необходимо отметить, что такого рода анализ, проведенный по различным аспектам многими исследователями, в том числе автором (6, 27, 35), позволил установить закономерности формирования мелиоративно-гидрогеологических условий, понимание которых оказалось существенно важным при последующем обосновании проектов орошения в Джизакской степи, в Сурхан-Дарье и других объектов в аридных областях.

В частности, были исследованы гидродинамические особенности потоков подземных вод в предгорных шлейфах, которые определяют наиболее интенсивную нагрузку на дренаж в переходной зоне от средних к периферийным частям конусов выноса, где отмечается постепенное выклинивание хорошо проницаемых пластов и, соответственно, уменьшение суммарной проводимости водоносного комплекса над региональным водоупором. Опыт переустройства дренажных систем на юго-восточном массиве Голодной степи и в восточной части Дальверзинской степи показал, что задача обоснования расчетных схем дренажа в этих условиях является наиболее сложной и требует особенно тщательной оценки исходных данных.

Особенности литологического строения периферийной части предгорного шлейфа, которые ранее были отмечены, и, соответственно, крайне незначительный подземный сток предопределили в условиях орошения неуклонный подъем уровня грунтовых

вод, при котором не наблюдаются периодические спады в невегетационные периоды.

Подъем уровня грунтовых вод при исходном его положении на глубине 10—15 м иногда начинается уже после первого года орошения, причем скорость этого подъема достигает в ряде случаев 4 м/год.

Такое развитие процесса оказалось неожиданным, поскольку предполагалось постепенное водонасыщение зоны аэрации. Последующие более детальные исследования показали, что причина этого процесса, прежде всего, в гетерогенном строении зоны аэрации; с началом орошения вода по макроканалам быстро достигает уровня грунтовых вод.

Необходимо отметить, что при региональной оценке формирования мелиоративно-гидрогеологических условий имеет большое значение качественный анализ гидрохимического режима, который для условий Голодной степи приводится в работе А. С. Хасанова (1968).

Рассматривая особенности балансового анализа (имеется в виду широко распространенный метод подсчета водного и солевого баланса), следует отметить, что роль балансовых методов нередко заметно преувеличивается. При подсчетах такого рода для больших территорий целый ряд составляющих, таких как разгрузка грунтовых вод на испарение и транспирацию, выклинивание их в понижениях рельефа, объемы различного рода водозаборов и других оцениваются весьма приблизительно. Исключительными являются только случаи небольших опытных участков, на которых все элементы баланса изучаются и оцениваются с одинаковой детальностью. Исходя из этих положений, нельзя согласиться с рекомендациями многих методических руководств определять отдельные количественные характеристики (например, модуль дренажного стока) по балансу, а затем использовать их в прогнозных расчетах математическими методами (численными, аналитическими). Такого рода расчеты неизбежно окажутся не инженерными, а показательными. Вместе с тем, балансовый анализ исключительно важен для выявления основных факторов, определяющих формирование гидрогеологических условий и последующей постановки исследований для более точных количественных оценок.

Количественный гидродинамический анализ для стоковых и стоково-инфильтрационных условий заключается прежде всего в исследовании на математической модели бассейна динамики формирования гидрогеологических условий с развитием орошения. При этом на основе решения фрагментных и региональных обратных, а также эвристических задач устанавливаются соответствующие количественные показатели. Такой подход предусматривает в конечном счете исследование баланса воды в каждом блоке модели и позволяет оценить характер плановой неоднород-

ности изучаемых показателей в пределах рассматриваемого гидрогеологического бассейна. Методические основы регионального количественного анализа рассмотрены в главе 6 на примере обоснования региональных технических решений для развивающегося объекта мелиорации.

Для инфильтрационных условий рассматриваются закономерности питания грунтовых вод в типовых случаях. В частности, для юго-западного массива Голодной степи установлены (35) следующие соотношения интенсивности инфильтрации ( $W$ ) и коэффициента недостатка насыщения ( $\mu_n$ ):

| Участки наблюдений                                                                                      | 1                                                | 2                                     | 3                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Исходная глубина до УГВ, м                                                                              | 9                                                | 13                                    | 16                                  |
| Значения $\frac{W}{\mu_n} = n \cdot 10^{-4}$<br>м/сут по годам от начала<br>орошения (в среднем за год) | 1 2,7<br>2 4<br>3 7,4<br>4 2,7<br>5 3,8<br>6 2,7 | 1,3<br>6,1<br>16<br>6,9<br>2,7<br>3,8 | 0<br>0,8<br>8,2<br>17<br>8,7<br>3,8 |

Эти данные свидетельствуют о сложном характере процесса заполнения емкости зоны аэрации, обусловленном ее гетерогенным строением.

#### Гидродинамический анализ работы мелиоративного дренажа и ирригационной системы

Теоретические основы гидродинамических исследований дренажа разработаны В. М. Шестаковым (1965, 1966, 1973, 1982). Отдельные аспекты исследования действующего дренажа с точки зрения оценки гидродинамических параметров рассмотрены также в работах М. Б. Баклушина, И. К. Дуюнова, В. А. Духовного, Б. Жуманова, А. В. Лебедева, В. А. Мироненко, Д. Моллова, Н. М. Решеткиной, В. Г. Самойленко, Н. Н. Ходжибаева, Х. И. Якубова. Вопросы исследования фильтрационных сопротивлений дренажа рассматривались в работах А. М. Айвазова, Г. И. Михайлова, Ф. А. Серебrenникова, Х. И. Якубова и других. На основе этих работ, а также исследований автора (7, 11, 20, 23, 27, 35) целесообразно построить общую методику гидрогеологических исследований этого направления, поскольку общеизвестна их важность как при обосновании реконструкции оросительных систем, так и при использовании в качестве расчетных схем — аналогов для объектов развития орошения. Учитывая достаточную трудоемкость оборудования створов опытно-фильтрационных наблюдений, целесообразно их намечать для наиболее характерных техногенно-гидрогеологических условий, которые выбираются

на основе геофильтрационной схематизации, исследования региональной математической модели и оперативного (рекогносцировочного) обследования мелиоративной системы. Для такого оперативного обследования предлагается метод, названный по предложению проф. В. М. Шестакова гидродинамической съемкой. Проведение такой съемки требует сравнительно простого набора оборудования: комплекта зондировочного бурения, переносного водослива, инструмента для нивелирования. Для обследования дрены (20) выбирается период квазистационарного режима сработки уровней после полива из условия  $t > t_{\text{кв}} = 0,02 \frac{L^2}{a}$  и по данным зондировочного бурения устанавливаются значения напоров

для разных  $\bar{x} = \frac{2x}{L}$ , например, для  $\bar{x} = 0,3; 0,6; 1,0$ . По данным наблюдений строится график  $H = f[\bar{x}(1 - \frac{\bar{x}}{2})]$ , который при условии соответствия расчетной схемы реальным условиям должен быть выражен прямой линией, отсекающей на оси  $H$  отрезок  $C_1 = \frac{q}{T} L_g$ , а на оси  $\bar{x}(1 - \frac{\bar{x}}{2})$  отрезок  $C_2 = -2L_g$ , откуда несложно найти  $L_g$  и  $T$ . При анализе результатов обследования важно учитывать, что горизонтальным дренам, также как и скважинам свойственно дополнительное сопротивление по характеру вскрытия пласта, которое можно обозначить, как  $L_\phi$ . Тогда

$$L_g = L_{ng} + L_\phi \quad (5-1)$$

где  $L_{ng}$  — расчетное значение (В. М. Шестаков, 1965, 1973).

В случае двухслойного пласта, при  $L_{ng} \gg L_\phi$ , данные такого обследования можно также использовать для оценки проницаемости покровного слоя ( $k_n$ ). В диссертационной работе приводятся результаты такой оценки по Голодной степи (35). В тех случаях, когда расчетная геофильтрационная схема подтверждается в натуре, для оценки величины  $L_\phi$ , обусловленной заилинием закрытой дрены или прорастанием и оплыванием открытой дрены, можно воспользоваться соотношением:

$$L_\phi = 0,25 \left( \frac{q_p}{q_\phi} - 1 \right) (0,5L + 4L_{ng}), \quad (5-2)$$

где  $\bar{q} = \frac{q}{h_L}$  — удельный дебит дрены, расчетный и фактический. Такого рода анализ для закрытого горизонтального дренажа (совхозы 8А, 10 Голодной степи) показал, что  $L_\phi \approx 5 \dots 10 L_{ng}$ . Следует, вместе с тем, отметить, что наилучшим образом параметры работы дренажа (включая инфильтрационное питание при орошении) могут быть оценены по данным опытно-фильтрационных наблюдений на специально оборудованных створах (11). В диссертационной работе проиллюстрированы конкретными примерами исследований дренажа в Голодной степи принципы оборудования таких створов (для типовых условий) и разработанные автором методы решения обратных задач для случаев:

- нестационарной инфильтрации при равномерных поливах;
- квазистационарной инфильтрации, равномерной в плане;
- сработки уровней в межполивной период.

На системах вертикального дренажа, наряду с оценкой параметров основного водоносного пласта, значительное внимание уделяется исследованию баланса потока в покровном слое для оценки закономерностей распределения в плане параметров

$\frac{k_n}{M}, \frac{W}{M}, K_n, W$ . Например, по данным таких исследований в совхозе № 19 Голодной степи не отмечено существенной плановой неоднородности покровных отложений, по уровню неводности (27). Характерное среднее значение  $\frac{k_n}{M} = 2 \pm 0,14$  м/сут.,  $1,75 \pm 0,1$  м/сут. и так далее, что при  $M \approx 0,06$  дает несущественные отклонения  $k_n$  от 0,1 м/сут. В условиях вертикального дренажа для оценки эффективности различных конструкций скважин важно изучить фильтрационные сопротивления скважин по характеру вскрытия пласта, которые могут быть выражены параметром  $\xi_\phi$  (Н. Н. Веригин, 1962) или расчетным радиусом  $r'_c$  (В. М. Шестаков, 1965). В частности, опыт такого рода исследований в совхозе 17 Голодной степи показал, что при различном составе обсыпки и конструкции фильтра, величина  $\xi_\phi$  может изменяться от  $-2$  до  $18$ , а  $r'_c$  соответственно, от  $3,7$  до  $6 \cdot 10^{-7}$  м, при реальном  $r_c = 0,5$  м.

При исследовании техногенно-гидрогеологических условий собственно ирригационной системы представляется особенно важным решение следующих задач (35):

- оценка инфильтрационного питания при орошении,
- изучение гидродинамического несовершенства ирригационных каналов и фильтрационных потерь.

Основным практическим методом оценки инфильтрационного питания является анализ данных опытно-фильтрационных наблюдений; этот метод достаточно хорошо разработан (А. В. Лебедев, Е. Н. Ярцева, 1967; Д. М. Кац, В. М. Шестаков, 1981; В. М. Шестаков, 1965, 1973, 1982; В. А. Барон, 1984, 1985; (11, 27, 29, 35) и другие).

В дополнение к этим разработкам, в диссертационной работе предложен метод оценки инфильтрационного питания для двухслойного пласта при существенно изменяющейся во времени разнице напоров в покровном слое и подстилающем пласте. Учитывая реальную плановую неоднородность инфильтрации и то обстоятельство, что один пункт наблюдений отражает влияние  $W$  на площади в несколько десятков  $m^2$ , изучать инфильтрационное питание целесообразно на типовых участках площадью не менее  $100-200$  га. В некоторых случаях, при изучении физической картины процесса инфильтрации необходима постановка детальных наблюдений в зоне аэрации (И. С. Пашковский, 1973, А. Б. Ситников, 1978).

При оценке гидродинамической роли ирригационных каналов важнейшим вопросом является оценка параметра гидродинамического несовершенства  $\Delta L$ ; методика этих исследований хорошо разработана (В. М. Шестаков, 1965, 1973, (27)). Вместе с тем, как и в случае исследования дренажа, возникает необходимость учитывать, что значение  $\Delta L$  — определяется 2-мя факторами:

- степенью вскрытия пласта (оценивается расчетом);
- кольматацией ложа канала (устанавливается только по натурным данным).

На примере исследования Южно-Голодностепского канала в диссертационной работе показано, что даже при относительно невысокой проницаемости покровных отложений ( $0,1-0,2$  м/сут) кольматация ложа сокращает фильтрационные потери примерно на 25%. Эти и другие результаты такого рода исследований свидетельствуют о необходимости планомерного изучения фильтрационного сопротивления ложа каналов в различных гидрогеологических условиях для учета этого фактора в прогнозных расчетах, а также в случаях решения вопроса о чистке или расчистке канала при его эксплуатации.

#### Анализ данных гидрохимических наблюдений

При постановке гидрохимических наблюдений целесообразно исходить из положения, что наилучшие результаты могут быть получены при соответствии масштабов опыта и прогнозируемого процесса (А. А. Рошаль, 1981, (35)). С учетом рассмотренных выше положений методики прогнозных гидрохимических расчетов, полевые наблюдения целесообразно ориентировать на решение следующих задач:

- анализ закономерностей формирования гидрохимического режима инфильтрационного потока, поступающего на уровень грунтовых вод;

- оценка гидрохимических параметров водовмещающей среды.

В диссертационной работе рассмотрена задача обоснования расчетной модели солепереноса в зоне аэрации на основе анализа экспериментального материала. Для этого использовались данные наблюдений за динамикой концентрации  $C\ell$  при промывке больших монолитов ( $Z=1,5$  м,  $F=0,6-0,8$  м<sup>2</sup>) на опытном участке в с/х 5 Джизакской степи\*. Интерпретация данных наблюдений и анализ, проведенные автором на основе использования модели макродисперсии (Н. Н. Веригин и др., 1977; В. А. Мироненко, 1983; А. А. Рошаль, В. М. Шестаков, 1973) и фундаментального решения задачи солепереноса для гетерогенно-блоковой модели (Н. В. Газенко, А. А. Рошаль, В. М. Шестаков, 1977; В. М. Шестаков (27)), показали, что гетерогенно-блоковая модель лучше отражает реальную физическую картину процесса рассоления; при условии применения модели макродисперсии

\* Исследования проводились институтом «Средазгипроводхлопок» (А. А. Чернышев).

значения  $p_3$  достигают 2, то есть  $p_3$  в этих случаях, в основном, характеризует не среду, а условия осреднения определенного процесса (В. М. Шестаков (27)). Полученные значения  $D^*=0,12-0,5$  м<sup>2</sup>/сут соответствуют характерному размеру проявления дисперсии ( $d_0$ ) порядка  $0,3-1$  м. С учетом этого обстоятельства также было установлено, что для  $Z \geq 1,5$  м и достаточно больших времен (при  $\bar{C} \approx 0,4 \dots 0,5$ ) величина  $p_3$  может быть с удовлетворительной точностью оценена на основе анализа конвективной модели, то есть по (4-7). При этом тангенс угла наклона прямой  $\ln c = f(t)$  к оси  $t$  равен  $\alpha_c$  и  $p_3 \approx \frac{\nu}{\alpha_c x}$ .

При решении практических задач для оценки параметров солепереноса представляется целесообразным использовать приближенное решение автора (4-5); предлагаемый метод и возможность оценки параметров по  $C_3$  анализируются, в частности, на примере интерпретации данных прослеживания динамики концентрации раствора в период опытного налива в большие кольца ( $d_1=1$  м,  $d_2=2$  м) в суглинки легкие — супеси тяжелые. Для оценки параметров по данным прослеживания прежде всего в диапазоне  $C=0,2-0,8$   $C_0$  отыскивается подбором величина  $C_3$  из соотношения

$$\frac{\ln \frac{C_1 - C_3}{C_2 - C_3}}{t_2 - t_1} = \frac{\ln \frac{C_2 - C_3}{C_3 - C_3}}{t_3 - t_2} \quad (5-3)$$

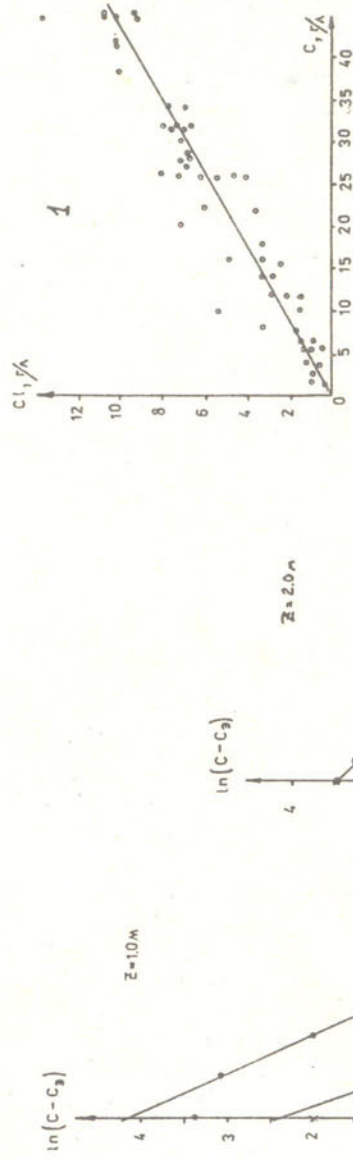
и строится график  $\ln(C - C_3) = f(t)$ ; тангенс угла наклона этой прямой к оси  $t$  (рис. 5.1) равен  $\alpha_c^*$ . В данном случае для  $Z_1=1$  м по  $C\ell$   $\alpha_c^*=6$  сут<sup>-1</sup>, по  $C_3$   $\alpha_c^*=4,5$  сут<sup>-1</sup>, а для  $Z_2=2$  м по  $C\ell$  и по  $C_3$   $\alpha_c^*=1,05-1,1$  сут<sup>-1</sup>, то есть для глубины порядка 2 м значения параметров солепереноса по  $C\ell$  и общей минерализации практически идентичны. Здесь уместно отметить, что идентичные параметры солепереноса по  $C\ell$  и  $C_3$  были также получены Н. И. Парфеновой (1968) при анализе макродисперсии в водонасыщенном пласте. Далее для оценки параметров используются соотношения

$$\frac{\Delta \alpha_c^*}{\Delta (\frac{1}{x})} = \frac{\nu}{n_3 x} \quad \text{и} \quad \nu (\frac{1}{x})^0 = (1-x) \alpha_c, \quad (5-4)$$

где  $\frac{\Delta \alpha_c^*}{\Delta (\frac{1}{x})}$  и  $(\frac{1}{x})^0$  — уклон графика  $\alpha_c^* = f(\frac{1}{x})$  и, соответственно, отрезок, отсекаемый этим графиком на оси.

Эффективность применения предлагаемой методики иллюстрируется также в диссертационной работе примером анализа данных наблюдений за динамикой концентрации поровых растворов\* при поливах на опытном участке в совхозе 10 Голодностепской степи. Результаты этого анализа (по  $C_3$  и  $Na$ ), а также оценки параметров солепереноса по длительным периодам солепереноса

\* Рис. 5.2

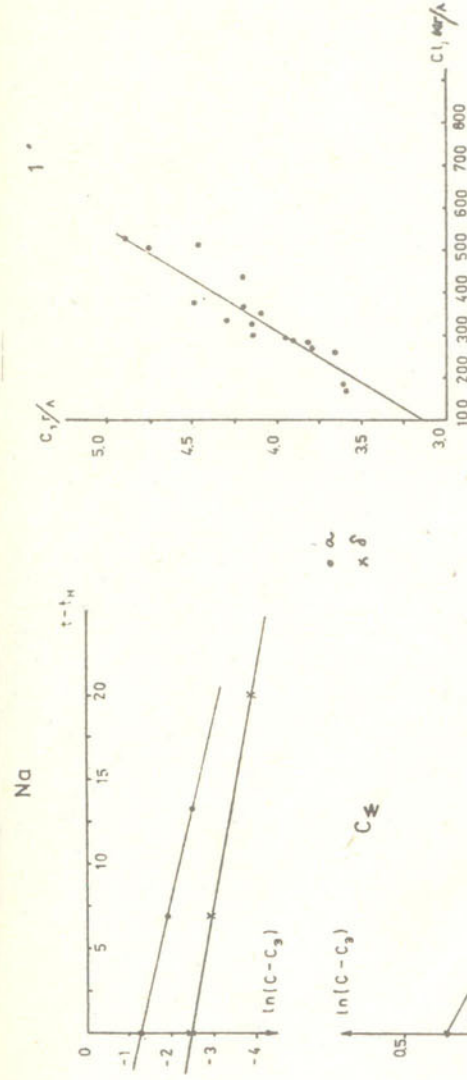


•  
x

Рис. 5.1

Графики прослеживания динамики концентрации при опытном наливке в большие кольца; а — хлор, б — общая минерализация, I — содержание  $Cl$  в воде различной концентрации

Na



•  
x

Рис. 5.2

Графики прослеживания динамики концентрации при поливах; а —  $Z=2m$ , б —  $Z=2.5m$ , I — содержание  $Cl$  в воде различной концентрации

(несколько лет) позволили разработать определенные практические рекомендации по постановке наблюдений и основным гидрохимическим параметрам\*\*, необходимым для решения задачи прогнозной оценки качества подземных вод. В частности, при глубине залегания уровня грунтовых вод порядка 2,5—3 м эффективно проведение наблюдений на глубинах 2 и 2,5 м с установкой керамических датчиков длиной 15—20 см с наблюдениями за электропроводимостью раствора и содержанием Na (по ионоселективным электродам), с минимальной подкачкой при замерах.

Для оценки параметров водовмещающей среды эффективно применение метода гидродинамических сеток (Д. М. Кац, В. М. Шестаков, 1981); при этом постановку такого рода наблюдений целесообразно осуществлять, учитывая расчетную гидрохимическую схему. В частности, для условий с/х 10 Голодной степи построена гидродинамическая сетка квазистационарного потока к коллектору в сравнительно однородном пласте переслаивающихся супесей и суглинков, что может соответствовать расчетной схеме макродисперсии. В результате решения обратной задачи для  $\Delta x_i \approx 15\text{—}25$  м установлены характерные для этих отложений значения  $D^* = 0,04 \text{ м}^2/\text{сут}$  и  $\delta_D = 8 \text{ м}$ .

Обобщая результаты гидрогеологических исследований на действующих мелиоративных системах целесообразно, прежде всего, систематизировать их по типовым расчетным геофильтрационным и гидродинамическим схемам дренажа, инфильтрационных потоков, фильтрации из каналов. Такая систематизация чрезвычайно важна для использования этих расчетных схем в качестве аналогов для объектов развития орошения. К сожалению, до настоящего времени не сформировалась тенденция к обобщению результатов исследований на действующих мелиоративных системах: исследования каждый раз ставятся как бы заново, в лучшем случае, с учетом данных отдельных ранее проведенных наблюдений. Однако, современное понимание важности рассматриваемой проблемы и развитие методики исследований, позволяют в практической деятельности исходить из достаточно оптимистического представления о том, что уже в самом ближайшем будущем будут создаваться региональные информационные системы в данной области. Тогда исследователи смогут проанализировать ранее полученные результаты, не повторять некоторые уже проведенные исследования и, что особенно важно, не допускать повторных ошибок в постановке исследований и гидрогеологическом обосновании оросительных мелиораций.

\*\* Табл. 5.1

Таблица 5.1.

Основные гидрохимические параметры солереноса в зоне аэрации для обоснования расчетных схем прогнозов качества подземных и дренажных вод

| Наименование параметров                                                                         | Расчетные зависимости                                                  | Характерные значения                                                                                                                                                                                                                                                                               | Обозначения и ссылки                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $n_0$ — активная пористость                                                                     | $\eta_3 \eta_0 \frac{1}{\beta}$                                        | 0,3—0,6                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $\beta$ — коэффициент распределения, В. М. Шестаков (1973)                                                                                                                   |
| $n_2$ — эффективная пористость                                                                  |                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                              |
| $\alpha$ — коэффициент солереноса с микропористыми блоками                                      |                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                              |
| $\alpha$ — коэффициент солереноса в макроканалах                                                | $\alpha = \frac{\alpha_c \cdot Z}{v}$                                  | $\alpha > 1$ — условия активного солереноса в монолитах<br>$\alpha = 0,3\text{—}1$ — условия активного солереноса на при промывках сильно засоленных почвогрунтов<br>$\alpha = 0,1\text{—}0,3$ — средние условия солереноса при промывках и поливах<br>$\alpha < 0,1$ — условия слабого солереноса | $\alpha$ — параметр солереноса, сут <sup>-1</sup> (В. М. Шестаков, 1973)                                                                                                     |
| $\alpha_c$ — коэффициент солереноса в макроканалах                                              | $\alpha_c = \frac{\alpha_c^* \cdot Z}{v}$                              | $\alpha_c^* > 20$ — благоприятные условия<br>$\alpha_c^* = 10\text{—}20$ — средние условия<br>$\alpha_c^* < 10$ — неблагоприятные условия                                                                                                                                                          | раздел 5.3                                                                                                                                                                   |
| $u_2$ — эффективная скорость                                                                    | $u_2 = \frac{v}{\alpha} = \alpha_c \cdot Z$                            | $10^2 \dots 5 \cdot 10^{-1} \text{ м/сек.}$                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                              |
| $D_r^*$ — коэффициент макродисперсии в гетерогенной системе (в макроканалах различного сечения) | $D_r^* = \alpha_c \cdot v$                                             | $D_r^* \approx 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^2/\text{сут}$<br>$\delta_r^* 0,5\text{—}1 \text{ м}$                                                                                                                                                                                        | В. А. Барон (1974) раздел 5.3                                                                                                                                                |
| $t_{opr}$ — расчетное время опреснения до заданной $C_p$ для $z=2 \text{ м}$                    | $t_p = t_1 + \frac{1}{\alpha_c} \ln \frac{C_{op} - C_p}{C_p - C_{op}}$ | 5—15 лет                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $t_1$ — период промывок, сут<br>$C_{op} = C_{op}^* [C_p - C_{op}] \exp(-\alpha_c^* t_1)$<br>$\alpha_c^*$ — параметр стабилизации рассоления при промывках, сут <sup>-1</sup> |

## Глава 6. Исследования на объектах развития орошения

Постановка мелиоративно-гидрогеологических исследований для обоснования инженерных решений по последующим очередям развития оросительных мелиораций осуществляется, как правило, на базе результатов комплексной гидрогеологической съемки масштаба 1:50000. Опыт такого рода исследований в Средней Азии (Голодная, Джизакская степи и др.) показал, что результаты комплексной съемки могут служить достаточно надежной основой для построения региональной модели объекта (при стоковом типе гидрогеологических условий) или для выбора представительных типовых фрагментов (при инфильтрационном типе гидрогеологических условий). На основе таких построений рассматриваются варианты очередности ирригационного строительства (с гидрогеологической точки зрения), вопросы обоснования региональных технических решений по контурным системам дренажно-водозаборных скважин, выделяются зоны применения систематического дренажа, а также объекты-аналоги по региональным признакам. Такой подход позволяет не только обосновать мероприятия по рациональному комплексному использованию и охране водных ресурсов, но и целенаправленно наметить исследования непосредственно в зонах применения систематического дренажа (34), на контурах водозаборов и ирригационных каналов.

В диссертационной работе, в частности, рассматривается обоснование региональных технических решений на примере типичного для аридных областей гидрогеологического бассейна Мотупе (Перу), где применение контурных систем дренажно-водозаборных скважин позволило сократить отбор поверхностного стока на 20—25%, а сброс вод плохого качества — более, чем в 3 раза. При этом зона применения систематического дренажа, на которой сосредотачиваются дальнейшие площадные исследования, составляет менее 20% общей площади массива.

Дальнейшее успешное развитие гидрогеологических исследований (30, 36) может быть осуществлено при соблюдении определенной их этапности и последовательного анализа получаемых результатов. Это положение прежде всего относится к анализу результатов гидрогеологической разведки перед постановкой опытно-фильтрационных работ. В частности, при решении задачи гидрогеологического обоснования мелиоративного дренажа, исследования типовых схем строения водоносного комплекса по результатам гидрогеологической разведки для последующей постановки опытно-фильтрационных исследований и выбора расчетных схем-аналогов на действующих системах является непременным условием успешного решения поставленной задачи. Аналогичная задача может возникнуть и для отдельных слоев зоны аэрации при прогнозной оценке их фильтрационных свойств в условиях водонасыщения. Таким образом, решение комплекса задач гидрогеологического обоснования оросительных мелиораций

требует выбора гидрогеологических фрагментов-аналогов, различных по масштабности и уровню значимости, и, следовательно, отказа от общепринятой тенденции выбора «орошаемого массива-аналога». Такого рода систематизация гидрогеологических фрагментов (35), хорошо согласующаяся с иерархией геологических тел в общей теории физической геологии (Г. К. Бондарик, 1981), представлена в табл. 6.1. Отметим, что при этом отдельные гидрогеологические элементы или расчетные схемы могут быть аналогами, хотя они принадлежат массивам, в целом аналогами не являющимися. При обосновании аналогов можно воспользоваться известными исследованиями в этой области А. П. Белоусовой и И. К. Гавич (1985), В. Г. Самойленко (1974), В. А. Шабанова (1971). В частности, аналоги, рассматриваемые по качественной оценке региональных мелиоративно-гидрогеологических условий («атрибутивные аналоги»), характерны чаще всего для бассейна подземных вод или для крупной области геофильтрации.

Аналоги, рассматриваемые по серии факторов — количественных признаков («подобные объекты») характерны для области геофильтрации. Пример такого обоснования объектов-аналогов хорошо разобран в работе А. П. Белоусовой и И. К. Гавич (1985). Для обоснования расчетных схем-аналогов можно воспользоваться предложениями В. А. Шабанова (1971), пример их практического приложения рассмотрен также в работе И. П. Айдарова (1985).

Исследование расчетных схем дренажа на основе сопоставления с аналогами и тестового моделирования, которое представлено в диссертационной работе на примере характерных расчетных схем дренажа Голодной степи (23), показывает эффективность применения принципа обратной связи (М. В. Рац, 1979) для целенаправленной постановки гидрогеологической разведки и опробования в зоне систематического дренажа.

В практике исследований по обоснованию мелиоративного дренажа хорошо известны трудности, связанные с обобщением результатов фильтрационного опробования различными методами. Эти трудности обусловлены следующими факторами (29, 32):

а) неоднородность строения водовмещающей среды (плановая и вертикальная) предопределяет влияние масштабности изучения процессов на поставку исследований и, соответственно, влечет за собой необходимость сопоставительного анализа фильтрационных схем опыта и прогнозируемого процесса;

б) параметры, характеризующие инфильтрационное питание при орошении и емкость водоносного комплекса, в большинстве случаев оказываются зависящими от протекания изучаемого процесса во времени; при этом возникает необходимость либо количественного описания этих зависимостей, либо оценки параметров по данным наблюдений за процессами, аналогичными прогнозируемым;

в) при обосновании расчетных схем дренажа нередко требует-

Систематизация мелкоразмерных гидрогеологических фрагментов\*

Таблица 6.1.

| Гидрогеол. фрагменты       | Определение фрагмента                                                                                                                                  | Основной принцип                                                            |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Гидрогеологический элемент | Горная порода, статистически однородная по одному или комплексу геофильтрационных и гидрогеохимических параметров                                      | Однородность по расчетным показателям                                       |
| Расчетная схема            | Один или несколько гидрогеологических элементов, составляющих определенную расчетную схему дренажа, фильтрации из каналов или других прогнозных оценок | Возможность принятия по условиям расчета определенного технического решения |
| Область геофильтрации      | Система расчетных схем, формирующих единый тип гидрогеологических условий, с определенными гидродинамическими границами                                | Общие закономерности формирования гидрогеологических условий                |
| Гидрогеологический бассейн | Гидрогеологическая система с областью питания, развития и разгрузки подземных вод к местному базису стока                                              | Полный цикл гидрогеологического процесса                                    |

\* С учетом положений общей теории физической геологии (Г. К. Бондарик, 1981).

ся прогнозная оценка фильтрационных свойств пород зоны аэрации при их водонасыщении в условиях орошения.

С учетом этих положений очевидна необходимость поиска рационального сочетания методов опытно-фильтрационных исследований.

При этом термином «прямые» целесообразно обозначать такие методы опробования, которые по своей зоне влияния, характеру формирования процесса геофильтрации и его структуре максимально соответствовали бы прогнозируемым условиям. Для косвенных методов различных порядков необходима в той или иной мере корреляция с результатами прямых определений. При таком подходе для обобщения результатов опробования могут быть использованы известные статистические приемы (М. В. Рац, 1979), в которых «весовыми» коэффициентами учитываются результаты косвенных определений различных порядков. В диссертационной работе прямые и косвенные методы классифицированы применительно к решению задачи обоснования дренажа и, соответственно, обоснованы принципы постановки и интерпретации опытно-фильтрационных исследований для определения основных расчетных параметров, которые представлены также в работах (3, 7, 19, 21, 25, 29, 32) и обобщены в (35).

В частности, один из важных вопросов — постановка опробования в зоне аэрации. Исследования, проведенные автором (19, 25), показали, что при постановке опытных наливов для создания вертикального просачивания на глубину  $Z$  за время  $t$  диаметр внутреннего (замерного) кольца можно найти из выражения

$$d \geq 2Z \frac{H_k^{1.5}}{\sqrt{K \cdot t_p}} \quad (6-1)$$

где  $H_k$  — характерная высота капиллярного поднятия для данного грунта.

Из (6—1), в частности, следует, что наливов в шурфы по методу Нестерова рациональны при  $k > 0,8 \dots 1$  м/сут. Для опробования менее проницаемых пород целесообразно проведение опытных наливов на площадки. Методы постановки и интерпретации таких опытов, разработанные автором на основе исследований в области теории влагопереноса в зоне аэрации (И. С. Пашковский, 1968), позволяют решать задачи послойной оценки фильтрационных параметров по данным прослеживания динамики объемной влажности в процессе налива (25).

При обобщении результатов геофильтрационной схематизации, разведки и опробования, типовые расчетные схемы дренажа распространяются обычно на значительные площади (порядка 10—20 км<sup>2</sup>), и трудно предугадать для каждого конкретного междурья, с какой погрешностью заданы расчетные параметры, установленные для всей типовой расчетной схемы. Поэтому

для практических целей рекомендуется устанавливать среднюю погрешность обоснования расчетной схемы. В частности, для горизонтального дренажа

$$\Delta h_{L, \text{ср}} = \sqrt{\bar{\Delta}_w^2 + \bar{\Delta}_{Lg}^2 + \bar{\Delta}_T^2}, \quad (6-2)$$

$$\bar{\Delta}_w = \frac{\Delta W}{W}, \quad \bar{\Delta}_{Lg} = \frac{\Delta L_g}{0.125 L + L_g}, \quad \bar{\Delta}_T = \frac{\Delta T}{T},$$

а для  $\bar{\Delta}_{Lg}$  в двухслойном пласте

$$\bar{\Delta}_{Lg, \text{ср}} = \sqrt{\bar{\Delta}_T^2 + \bar{\Delta}_{K_n}^2 + \bar{\Delta}_{m_g}^2}, \quad \bar{\Delta}_{m_g} = \frac{\Delta m_g}{m_g \ln \frac{2m_g}{\pi d}}; \quad (6-3)$$

в однородном пласте

$$\bar{\Delta}_{Lg} = \bar{\Delta}_{m_g} \quad \text{при} \quad \bar{\Delta}_{m_g} = \frac{\Delta m_g}{m_g \ln \frac{2m_g}{\pi d}} \quad (6-4)$$

Анализ этих зависимостей показывает, что даже при хорошо поставленных гидрогеологических исследованиях ошибка в расчете  $h_L$  может достигнуть 40—50%, что еще раз подчеркивает важность принятия инженерных решений с учетом анализа закономерностей формирования мелиоративно-гидрогеологических условий для расчетных схем-аналогов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широкое развитие техногенно-гидрогеологических условий в районах современного мелиоративного строительства, обусловленное взаимодействием мелиоративных систем и подземных вод, ставит перед мелиоративной гидрогеологией задачи поиска нового подхода к исследованию объектов мелиорации, требующего применения обратной связи, в частности, использования данных наблюдений на действующих системах, и постановки мелиоративно-гидрогеологических исследований, целенаправленной на обоснование определенных инженерных решений. Особенно важным представляется такой подход при гидрогеологическом обосновании реконструкции мелиоративных систем, ставшей актуальной при решении задач интенсификации орошаемого земледелия.

В настоящее время недостаточно эффективные решения по гидрогеологическому обоснованию оросительных мелиораций во многих случаях определяются следующими факторами:

— отсутствием обобщения значительного опыта оросительных мелиораций и исследования взаимодействия оросительных систем и подземных вод, в частности, наблюдений за действием мелиоративного дренажа;

— недостаточной направленностью исследований на обоснование определенных технических решений, что потребовало бы предварительного анализа и учета взаимодействия сооружений со средой.

С учетом отмеченных выше особенностей решения поставленных задач, в диссертационной работе представлены обобщенные и разработанные автором положения по теоретическим и методическим основам мелиоративно-гидрогеологических исследований, а также практические рекомендации по гидрогеологическому обоснованию развития и реконструкции мелиоративных систем в аридных областях.

Сущность защищаемых положений сводится к следующему:

1. При обосновании методов исследований и прогнозирования техногенно-гидрогеологических условий объектов мелиорации, необходимо широкое применение принципа обратной связи, в частности, использование результатов наблюдений на действующих мелиоративных системах для оценки гидродинамического несовершенства дренажа, инфильтрационного питания при орошении, прогнозных геофильтрационных и гидрохимических параметров пород зоны аэрации в условиях водонасыщения, а также исследования тестовых моделей расчетных схем мелиоративного дренажа для целенаправленной постановки гидрогеологических исследований.

2. Построение расчетных схем гидрогеологических прогнозов базируется на качественной (мелиоративно-гидрогеологической) и количественной (геофильтрационной) схематизации объектов орошения; при этом геофильтрационная схематизация разрабатывается не только на основе анализа плановой и вертикальной неоднородности строения водоносного комплекса, изучения параметров водоносных пластов и слабопроницаемых слоев, гидродинамических границ, но также и с учетом техногенных особенностей мелиоративной системы, в частности, типа дренажа.

3. При исследовании закономерностей формирования режима грунтовых вод и эффективности линейного систематического дренажа (горизонтального, комбинированного) важен учет неравномерности инфильтрации в зоне влияния дрен (по профилю и во времени), при этом необходимо оценить для типовых условий роль дренажа в сработке уровня грунтовых вод в межполивные периоды, исходя из критериев создания благоприятного водно-солевого режима.

Для систем вертикального дренажа в качестве основного расчетного показателя целесообразно использовать суммарный дебит системы, определив на основе гидрохимического прогноза часть объема откачиваемой воды, которая эпизодически или постоянно подлежит сбросу за пределы массива для поддержания рассоляющего режима.

4. При решении задач прогноза гидрохимического режима подземных и дренажных вод в слоистых водоносных пластах оптимальной является гетерогенная расчетная модель, а при сравнительно однородном строении водоносного пласта эффективно применение сосредоточенной или дискретной модели качества в зависимости от поставленной задачи. При этом поступление солей с инфильтрационным потоком описывается обобщенной функцией, учитывающей неравномерность инфильтрации по профилю и динамику концентрации во времени.

5. Для обоснования развития оросительных мелиораций и, особенно, реконструкции мелиоративных систем эффективна постановка специальных гидрогеологических исследований на действующих объектах орошения. При этом, основываясь на результатах региональной оценки закономерностей формирования гидрогеологических условий и рекогносцировочного обследования мелиоративной системы методом гидродинамической съемки, выбираются типовые техногенно-гидрогеологические условия. На участках с типовыми условиями осуществляется постановка опытно-фильтрационных и гидрохимических наблюдений, являющихся в этом случае основными методами гидрогеологических исследований, для которых разработаны принципы постановки и способы интерпретации результатов. При обобщении результатов такого рода исследований важно учитывать принципы систематизации мелиоративно-гидрогеологических фрагментов, которые могут быть рассмотрены в качестве аналогов при обосновании инженерных решений различной масштабности.

6. Принципиальной особенностью применения традиционных методов гидрогеологических исследований при изучении новых и развивающихся объектов орошения является целенаправленность этих исследований на обоснование определенных инженерных решений. В частности, при постановке мелиоративно-гидрогеологических исследований эффективно создание на основе материалов комплексной съемки масштаба 1 : 50000 математической модели изучаемой области геофильтрации, охватывающей объект мелиорации и сопредельные территории до установленных гидродинамических границ. Исследование такой модели позволяет специалисту-гидрогеологу совместно со специалистами в области гидротехники и мелиорации обосновать региональные технические решения, в том числе возможность отбора инфильтрационного питания контурными системами дренажно-водозаборных скважин, зону систематического мелиоративного дренажа, мероприятия по охране окружающей среды и другие.

При таком подходе отпадает, например, необходимость проведения специальных гидрогеологических исследований для обоснования дренажа по всему массиву, поскольку выявляются определенные зоны применения систематического дренажа. В свою очередь, предварительный анализ локальных расчетных

схем (дренажа, фильтрации из каналов и др.) позволяет с учетом намечаемых технических решений выделить элементы расчетной схемы различного уровня значимости, и наметить критерии дренажирования.

Таким образом, выделяя типовые локальные геофильтрационные схемы, учитывающие особенности вертикальной неоднородности строения потока и намечаемые технические решения и обосновав соответствующую реальным условиям модель гидрохимического прогноза, представляется возможным обеспечить целенаправленную постановку исследований, показать реальную достоверность обоснования расчетных схем прогнозов и, вместе с тем, исключить значительные объемы работ, связанных с исследованием второстепенных факторов. Соответственно, при постановке гидрогеологического опробования обосновываются прямые и косвенные методы опробования (различного уровня значимости) для решения определенных инженерных задач и соответствующей обобщенной оценки расчетных параметров.

Результаты проведенных исследований, в целом составляющие научно-методические основы гидрогеологических исследований для обоснования развития и реконструкции мелиоративных систем в аридных областях, показали также необходимые направления дальнейшего исследования рассматриваемой проблемы. Основными из этих направлений можно считать:

- 1) развитие методики обоснования расчетных схем региональных гидрогеологических прогнозов на основе интерпретации данных полевых исследований, решения обратных и эвристических задач, главным образом, в области идентификации моделей и реальных гидрогеологических условий;
- 2) развитие количественных методов обоснования и идентификации гидрогеологических фрагментов-аналогов;
- 3) исследование закономерностей динамики водонасыщения-осушения покровных отложений при орошении в типовых гидрогеологических и техногенных условиях;
- 4) развитие методики обоснования расчетных моделей и типовых схем гидрохимических прогнозов, а также методов натурных наблюдений для обоснования расчетных параметров.

#### Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Оценка гидрогеологических параметров для проектирования искусственного дренажа орошаемых земель: Сб. докладов международного семинара, Гидрогеологические исследования для орошаемого земледелия. — Ташкент, т. II, 1968, с. 206—225.
2. Методика учета инфильтрационного питания при расчетах и моделировании систематического дренажа: Науч. тр./ТашГУ — Ташкент, 1971, вып. 415, с. 21—38 (совместно с В. М. Шестаковым).

3. О постановке опытных кустовых откачек на орошаемых массивах: Науч. тр. /Средазгипроводхлопка.— Ташкент, 1971, вып. 1, с. 84—96 (совместно с И. С. Пашковским).

4. Районирование орошаемых земель по типовым фильтрационным схемам: Науч. тр. /Средазгипроводхлопка.— Ташкент, 1971, вып. 1, с. 98—108 (совместно с Сойфер С. Я.).

5. Вопросы обоснования фильтрационной схемы мелиоративного дренажа: Науч. тр. /ТашГУ.— 1972, вып. 424, с. 170—177.

6. Принципы постановки гидрогеологических исследований для обоснования мелиоративного дренажа (на примере Джизакской степи): Матер. междуведом. совещ. по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии, М., 1972, вып. II, с. 268—274 (совместно с И. С. Пашковским).

7. Методика экспресс-опробования скважин, вскрывающих уровень грунтовых вод: Науч. тр./Средазгипроводхлопка.— 1973, вып. 4, с. 120—131.

8. Принципы геофильтрационной схематизации орошаемых массивов.— Разведка и охрана недр, 1974, № 11, с. 39—44 (совместно с В. М. Шестаковым).

9. Гидрогеологические исследования для обоснования дренажа на Джизакском массиве Голодной степи: Сб./Проблемы сельскохозяйственной науки в Московском университете.— МГУ, 1975, с. 68—75 (совместно с И. С. Пашковским).

10. Аналитические методы расчета дренажа при проектировании.— Гидротехника и мелиорация, 1975, № 9, с. 71—80 (совместно с Н. М. Решеткиной).

11. Гидродинамический анализ работы горизонтального дренажа по данным режимных наблюдений: Сб./Использование подземных вод для орошения в комплексе с поверхностными водами.— IX Международный конгресс по ирригации и дренажу, М., 1975, с. 149—162.

12. Специальные методы гидрогеологических исследований в районах развития мелиорации.— Бюлл. Московского общества испытателей природы, отдел геологический, 1975, § 5, с. 138.

13. Схема мелкомасштабного мелиоративно-гидрогеологического районирования: Сб. науч. тр. /В/О Союзводпроект, 1975, № 1, с. 50—55.

14. Some peculiarities of geofiltration analogue simulation to solve inverse problems, Materialy III Konferencyi «Modelowanie zagadnien brzegowych», Warszawa, 1975, p.p. 469—479 (совместно с А. А. Желобаевым и А. М. Чеховских).

15. Analog modelling of aquiferous systems in coastal zones, Symposium on Modelling Techniques, S.-F., Califörniä, 1975, Vol. 11, p.p. 1507—1515 (совместно с Г. В. Богомоловым и Ю. Б. Богомоловым).

16. Вертикальный дренаж с усилителями перетекания.— Гидротехника и мелиорация, 1976, № 7, с. 68—72 (совместно с Сойфер С. Я.).

17. Вопросы гидрогеологического обоснования крупных водозаборов подземных вод на объектах мелиорации: Тез. докл. III междуведом. совещ. по вопр. прогнозирования гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий.— М.: 1976, вып. 2 (совместно с А. А. Желобаевым и В. А. Племеновым).

18. Особенности расчетов мелиоративного дренажа при неравномерной инфильтрации: Сб. науч. тр. /В/О Союзводпроект, 1976, № 1 (44), с. 22—35.

19. Вопросы методики фильтрационного опробования глинистых пород в зоне аэрации: Сб. науч. тр. /В/О Союзводпроект, 1976, № 3 (46) с. 69—78.

20. Оценка гидродинамических параметров по данным замера глубин до уровня грунтовых вод и дебита горизонтальной дрена.— Мелиорация и водное хозяйство, ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1977, серия 1, с. 19—25.

21. Особенности оценки гидрогеологических параметров разделяющих слабопроницаемых горизонтов по данным опытных работ: Сб./Методы и результаты гидрогеологических исследований в перспективных для орошения районах, 1977, с. 51—58.

22. Гидрогеологические исследования в связи с прогнозом режима подземных вод на мелиорируемых землях: Материалы междуведомственного совещания по вопросам прогнозирования гидрогеологических, инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных условий, 1977, вып. 1, с. 96—103.

23. Результаты анализа типовых расчетных схем горизонтального дренажа при стационарном режиме инфильтрации: Сб./Прогрессивные методы мелиорации засоленных почв.— М., 1977, с. 351—362.

24. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа.— В кн.: Решеткиной Н. М. и Якубова Х. И. Вертикальный дренаж.— М.: Колос, 1978, с. 154—172.

25. Фильтрационное опробование зоны аэрации опытными наливками: Сб./Методы гидрогеологических, инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных исследований, IV междуведомственное совещание, М., 1980, с. 120—124.

26. Исследование на аналоговых моделях воздействия мелиоративных систем на режим подземных вод.— БИНИИНТИ, Минск, 1980, серия/Строительство и строительные материалы, 16 с. (совместно с Ю. Г. Богомоловым, А. А. Желобаевым, В. А. Племеновым).

27. Гидрогеологические исследования на орошаемых территориях.— М.: Недра, 1982. — 244 с. (совместно с И. С. Пашковским и В. М. Шестаковым).

28. Принципы геофильтрационной схематизации для обоснования прогнозных гидрогеологических расчетов: Сб. науч. тр./В/О Союзводпроект, Совершенствование инженерных изысканий в мелиоративном проектировании, М., 1983, с. 27—40 (совместно с С. М. Голубевым).

29. Исследование параметров основных уравнений геофильтрации: Сб./Рациональное использование водных ресурсов.— М.: Наука, 1984, вып. I, с. 84—99.

30. Совершенствование методологии и технических средств изысканий для мелиоративного и водохозяйственного строительства: Сб./Современные методы инженерных изысканий для целей мелиорации.— Д.: Долиш, 1984, с. 160—169.

31. Гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания для мелиоративного и водохозяйственного строительства.— ВСН 33-2.1.05-85, М.: Минводхоз СССР, 1985 (совместно с А. А. Желобаевым, А. В. Емельяновым, В. Ф. Жабиным и Л. Машкович).

32. Особенности решения прогнозных мелиоративно-гидрогеологических задач численными методами: Сб./Рациональное использование водных ресурсов.— М.: Наука, 1986, вып. 8, (совместно с С. М. Голубевым и А. И. Шмаковым).

33. Обобщение результатов оценки фильтрационных параметров расчетных схем мелиоративного дренажа: Сб./Рациональное использование водных ресурсов.— М.: Наука, 1986, вып. 9.

34. Метод оценки качества подземных и дренажных вод, используемых на орошение: Сб. науч. тр./В/О Союзводпроект, 1986.

35. Исследование гидрогеологических условий развития и реконструкции оросительных систем.— М.: Наука, сер./Рациональное использование водных ресурсов, 1986, вып. 10.

36. О научно-техническом прогрессе в изысканиях и исследованиях для мелиоративного строительства: Сб. науч. тр./В/О Союзводпроект, 1986 (совместно с В. Л. Белым).