

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ПО ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛЬНЫМ РЕСУРСАМ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ  
„УЗБЕКГИДРОГЕОЛОГИЯ“  
ИНСТИТУТ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ  
ГИДРОИНГЕО

Специализированный Совет Д. 071. 01. 21

На правах рукописи

УДК 556.3:631.432(575)

ГАНИЕВ Кахрамон Ганиевич

**Теоретические основы процесса испарения  
грунтовых вод аридной зоны (на примере  
хлопкосеющих регионов Туранской  
низменности)**

Специальность 04.00.06—Гидрогеология

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук

Ташкент—1993

потреблении орошаемых полей является проблемой имеющей народно-хозяйственное значение.

В бассейне рек Сырдарьи и Амударьи разрабатываются мероприятия по перспективному переустройству ирригационной сети для выявления дополнительных источников воды, их осуществление вызовет вторичное техногенное изменение в зоне полного насыщения природно-техногенных комплексов. Отсюда - необходимость теоретического обобщения обширного фактического материала.

Водоносные горизонты - часть сложной экологической системы, находящейся под воздействием комплекса факторов с прямыми и обратными структурными связями. Сфера распространения и свойства их динамичны во времени и пространстве. Эволюционная направленность их зависит от геологических особенностей и динамического состояния граничащих с ними почвенно-климатических зон. Разработка методов системного анализа развития зоны полного насыщения орошаемого региона на базе новых теоретических обобщений, прогрессивных методик - задача, имеющая важное научное и прикладное значение.

Формула диссертационной работы - исследование процессов испарения грунтовых вод, их участия в эвапотранспирации орошаемых регионов хлопковой зоны Туранской низменности на основе системного анализа.

Цель и задачи. Главная цель исследований - установление зависимостей испарения грунтовых вод от природных и водохозяйственных условий для выработки практических рекомендаций по расчету региональных характеристик расхода влаги из зоны полного насыщения.

В соответствии с целью работы решаются задачи:

1) установление зависимостей испарения грунтовых вод от механического состава почв, глубины залегания, минерализации и химического состава подземных вод, особенностей развития растений, поливных норм, для выявления функциональной связи водопотребления орошаемого поля с зоной полного насыщения, основной закономерности испарения грунтовых вод;

2) выявление структуры природно-техногенного комплекса орошаемого региона;

3) установление особенностей формирования грунтовых вод в условиях их активного техногенного преобразования;

4) разработка способов оценки техногенных изменений в формировании природно-техногенных комплексов.

Научная новизна работы. Предложен принципиально новый подход к районированию зон орошаемого земледелия по величине испарения грунтовых вод. Впервые выделена подсистема орошаемого поля как наименьшая единица природно-техногенного комплекса с определением структурных уровней по вертикали и горизонтали.

Разработан способ достоверной оценки потенциала изменчивости гидромелиоративных условий орошаемых регионов, основанный на мобильности гидрогеологических условий, а также площадной характеристики изменения качества и количества грунтовых вод. Обоснована необходимость развития нового научного направления - гидрогеоэкологии.

На основе техногенности формирования режима грунтовых вод установлен вторично-техногенный этап формирования грунтовых вод с новыми стадиями опреснения и засоления.

Новым в работе является выделение подсистемы орошаемого поля, позволяющей дифференцировать структурные уровни природно-техногенного комплекса, являющейся научной основой изучения техногенных изменений зоны полного насыщения орошаемого региона, а также переходные коэффициенты для расчета испарения грунтовых вод, по мощности зоны аэрации, деятельному покрову, норме увлажнения грунтов корнеобитаемой зоны.

Реализация результатов исследований и практическая значимость. Новые научные положения работы использованы при размещении государственных опорных гидрогеологических наблюдательных пунктов на территориях исследований гидрогеологических станций Средней Азии, Азербайджана и Южного Казахстана, а также при составлении перспективной программы исследований на водно-балансовых станциях, применяются в разработке водосберегающих технологий использования оросительной воды.

Предлагаемая автором новая методика оценки мобильности гидрогеологических условий применяется в САНИИРИ, "Средазгипроводхлопок" и др.

Основные положения, разработанные автором кладутся в основу научного обоснования проектов комплексного регулирования запасов подземных вод и используются в учебном процессе по курсам "Целиоративная гидрогеология", "Режим и баланс подземных вод" на кафед-

рах гидрогеологии ТашГУ и ТашТУ, а также при выполнении научно-исследовательских и тематических работ в ГИДРОИНГЕО, Опытном-методической партии ПО "Узбекгидрогеология", НИО САНИИРИ, ТИИИМСХ.

Апробация работы. Основные положения диссертации и ее фрагменты представлялись на Зональном совещании работников гидрогеологических станций Средней Азии и Южного Казахстана (Ташкент, 1964); семинаре работников гидрогеологических станций аридной зоны СССР (Ташкент, 1965; Баку, 1968); междуведомственном совещании по проблеме изучения испарения с поверхности суши (Валдай, 1961), по проблеме регулирования испарения с водной поверхности и почвы (Валдай, 1964), по вопросам экспериментального изучения водного баланса речных водосборов (Валдай, 1965), по методике гидрометрической оценки подземного стока в реки (Валдай, 1966); междуведомственном совещании по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии (Минск, 1969); Юбилейной научной сессии АН УзССР, посвященной 50-летию Советской власти (Ташкент, 1969); Зональном совещании работников гидрогеологических станций (Белые воды, 1971); III Междуведомственным совещанием по вопросу прогнозирования гидрогеологических, инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных условий (Баку, 1977); IV Междуведомственным совещанием по мелиоративной гидрогеологии, инженерной геологии и мелиоративному почвоведению (Ашхабад, 1980); Семинаре экономической комиссии ЮНЕСКО по проблеме водных ресурсов в Аридной зоне (Ташкент, 1981); I Всесоюзной гидрогеологической конференции (Москва, 1982).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 35 работ, в том числе пять монографий: "Методика составления водного баланса межгорных впадин" (в соавторстве с Г.А.Мавляновым, Фан, 1973); "Испарение в средней и верхней частях бассейна р.Сырдарья" (Фан, 1974); "Испарение и инфильтрационное питание грунтовых вод (на примере орошаемых земель)" (Фан, 1979); "Многолетний режим грунтовых вод орошаемых территорий в бассейне Аральского моря" (в соавторстве с Г.А.Мавляновым, Фан, 1980); "Основы гидрорежимных исследований в Узбекистане" (в соавторстве с Г.А.Мавляновым, 1982); методическое указание "Рекомендации по обработке материалов наблюдений за режимом подземных вод и водно-балансовых исследований" (в соавторстве с В.А.Бароном, А.А.Мадмаровым, Д.Р.Планиным, ретспринт ВСЕГ.ИНГЕО, 1977).

Исходные материалы и личный вклад в решение проблемы. В ос-

нову диссертации положены результаты многолетних (более 30 лет) производственных, лабораторных, тематических и теоретических исследований автора, выполненных в Узбекском гидрогеологическом тресте, НИО САНИИРИ, ГИДРОИНГЕО. С 1966 г. по 1984 г. автор являлся куратором гидрогеологических и инженерно-геологических партий по организации исследований и проведению гидрорежимных работ. Разработаны методы размещения опорных гидрогеологических скважин, водно-балансовых станций, интерпретации данных водно-балансовых исследований.

В результате обобщения данных гидрогеологических станций за период 1928-1990 гг., собственных лабораторных исследований, а также значительного объема опубликованных работ автором получены новые зависимости, теоретические выводы рекомендованы для практического использования.

Проведена постановка экспериментальных работ и обработаны материалы по влиянию режимобразующих факторов на динамику уровня, питание и расходование грунтовых вод в различных зонах климатической увлажненности, дренированности территорий, сельскохозяйственной нагрузки на поля и т.д. В течение ряда лет автором изучается проблема влияния качества грунтовых вод на скорость миграции, интенсивность питания и расходования. Им осуществлены опыты по влиянию зеленой массы и корневой системы растений, а также концентрации и типа и растворов на интенсивность водообмена между зонами аэрации и полного насыщения и приземным слоем воздуха.

Личным вкладом диссертанта в науку является применение системного подхода к изучению процессов формирования грунтовых вод среднеазиатского орошаемого региона, определение подсистемы орошаемого поля, автоволи ирригационных систем, структуры природно-техногенных комплексов, установление категорий и выявление тесноты связей между структурными уровнями как элементами системы. Установленная основная закономерность испарения грунтовых вод является весомым вкладом в теорию процесса испарения.

Структура и объем. Диссертация состоит из двух книг. Первая книга (текст) объемом 316 с. машинописи, 30 таблицами, 18 рисунками, списком литературы 222 наименований на 22 с. включает введение, II глав и заключение. Вторая книга (панка) состоит из 18 чертежей, иллюстрирующих текстовую часть.

сооружений представляет собой часть природы. Сознательная деятельность человека направлена на получение с него максимального урожая с оптимальным использованием техногенных средств при сохранении и улучшении исходного плодородия почв и гидро-мелиоративных условий. С этих позиций природный комплекс может быть назван природно-техногенным.

Природный комплекс следует рассматривать как множество взаимосвязанных элементов (атмосфера, почва, подземные и поверхностные воды, гидротехнические и ирригационные сооружения, другие средства техногенного воздействия человека), образующих определенную целостность. Элементы природного комплекса структурно организованы, изменения в одном из них неизбежно влекут отклонения в примыкающих подсистемах.

### 1.3. Характеристика степени региональной аридности и гидроклиматических изменений

Природная увлажненность орошаемых регионов неодинакова. Она обуславливается гипсометрией, характером простирающихся основных горных сооружений по отношению к господствующим ветрам, особенностями геоморфологических условий и т.п.

В зоне хлопководства Туранской низменности с ее аридными, полуаридными, гумидными или катическими условиями, можно выделить зоны ничтожного, скудного и недостаточного увлажнения с коэффициентами, равными соответственно  $\leq 0,12$ ;  $0,12 + 0,30$ ;  $0,30 + 0,60$ . На отдельных участках, в пределах горного обрамления, они составляют  $0,61-0,98$ , а на леднике Федченко —  $1,29$ .

Хлопковая зона характеризуется отсутствием поверхностного стока за ее пределы, а подземный сток в Аральское и Каспийское моря ничтожен. Таким образом, изучаемая территория обладает одним из существенных свойств аридности — отсутствием стока.

На орошаемых участках интенсивность испарения снижается из-за трансформирующего эффекта воздушного потока. По данным гидроклиматических исследований, температура орошаемого участка на несколько градусов ниже, относительная влажность воздуха выше, чем на неорошаемом. Гидроклиматический эффект в аридных условиях выражен сильнее, чем в гумидных. Смягчение региональной аридности от пустынь: горным областям, в силу повышения увлажненности и уменьшения сухости под действием орошения, иногда существенно

прогрессирует.

Техногенное воздействие человека на окружающую среду в связи с орошением вызывает снижение аридности, поверхностного и подземного стока в орошаемых регионах.

### 1.4. Водопотребление в орошаемых регионах

Проблеме водопотребления орошаемых земель в аридных условиях посвятили свои труды С.Ф.Аверьянов, Р.А.Алимов, Н.Ф.Беспалов, В.А.Духовный, Д.М.Кац, Н.А.Кенжарин, В.А.Ковда, М.И.Крылов, Н.Т.Лактаев, Н.Г.Минашина, С.Ш.Мирзаев, Ф.М.Рахимбаев, Н.М.Решеткина, Н.В.Роговская, А.Ф.Сляднев, Н.Н.Ходжибаев, Е.В.Чаповская, Х.И.Якубов и другие. Ими внесен большой вклад в развитие мелиоративной гидрогеологии, разработаны научные основы развития орошения в Средней Азии, Азербайджане, Южном Казахстане.

Мы приступая к разработке темы диссертации, приняли в качестве исходного рубежа достижения упомянутых выше ученых и стремились раскрыть неизученные закономерности, зависимости суммарного испарения и доли грунтовых вод в безвозвратном водопотреблении с орошаемых регионов.

Суммарное испарение с орошаемого поля формируется в зависимости от строения почв, климатической увлажненности, ирригационной водообеспеченности, метеорологических условий, водности года и др. Используя существующие зависимости, коэффициенты климатической увлажненности, сухости воздуха рассчитаны величины суммарного испарения на основе испаряемости.

Чирчик-Ангренская долина относится к наиболее увлажненным регионам Узбекистана, по данным м/ст Ташкента испаряемость достигает  $266$  мм/мес, суммарное испарение —  $215,6$  мм/мес. За период вегетации 1966 года эвапотранспирация составила  $921,4$  мм.

Долина р.Сурхан характеризуется наиболее высокой испаряемостью, по данным м/ст Шерабад —  $361,1$  мм/мес, испарение —  $231,1$  мм/мес, за период вегетации 1966 года эвапотранспирация составила  $1119,5$  мм.

В орошаемых регионах период наибольшего испарения охватывает июль-август (в период цветения — плодообразования хлопчатника, интенсивных поливов).

В условиях произрастания хлопчатника между эвапотранспирацией и испарением грунтовых вод установлена тесная связь. При

близком (0,5 м) залегании доля зоны полного насыщения достигает 68% (низовья Амударьи), 58% - в Хорезмском оазисе, 60% - в долине Сурхандарьи, 64% - в Каршинских степях и т.д.

Наибольший расход грунтовых вод за вегетационный период отмечается в Каршинской степи - 583 мм, для Сурхандарьинской долины - 552 мм. При мощности зоны аэрации - 3 м на хлопковом поле испарение грунтовых вод в период вегетации: в Самаркандской области - 20, Каршинской степи - 45, Голодной степи - 10, Каракалпакии - 27, Хорезмском оазисе - 20, Бухарском оазисе - 30, Ферганской долине - 23, Чирчик-Ангренской долине - 18 мм, а в условиях произрастания люцерны третьего года посева расход грунтовых вод достигает 200 мм.

Установлена параболическая связь между глубиной залегания ( $h$ ) и испарением грунтовых вод ( $U_r$ )

$$U_r^{a1} = \frac{I}{0,059h + 0,502}; \quad (1)$$

Для расчета декадной величины испарения уравнение связи имеет вид:

$$U_r^{dek} = \frac{e^{10Et} I}{18(0,059h + 0,502)}; \quad (2)$$

здесь  $U_r^{dek}$  - декадная сумма испарения грунтовых вод, мм;  
 $h$  - среднедекадная глубина залегания грунтовых вод, м.

На основе анализа материалов исследований, проведенных в Ферганской долине (глины), в Голодной степи (суглинки), Каракульском оазисе (супеси) установлена зависимость испарения грунтовых вод от механического состава грунтов, слагающих корнеобитаемую зону. В супесях оно меньше на 23%, в глинах на 38% по сравнению с испарением грунтовых вод в суглинках. Меньшие показатели супесчаных грунтов связаны с небольшой капиллярной каймой по сравнению с суглинками. Уменьшение расхода грунтовых вод в глинах объясняется необеспеченностью подтока капиллярной влаги из зоны полного насыщения из-за меньших размеров капиллярных пор, а также чешуйчатым строением глин.

Материалы исследований по Бухарскому и Каракульскому оазисам позволяют установить зависимость испарения грунтовых вод от степени минерализации. Повышение минерализованности на 5 г/л уменьшает испарение на 18%, на 10 г/л - 27%.

Результаты лабораторных исследований показали зависимость

испарения грунтовых вод от типа химического состав. Воды с карбонатным составом испаряются меньшей интенсивностью. По мере изменения химического состава к сульфатному, хлоридному интенсивность расходования их увеличивается.

В диссертационной работе приведены переходные коэффициенты по глубине залегания грунтовых вод, деятельному покрову, норме увлажнения корнеобитаемой зоны.

На основе зависимости полученной В.Г.Насоновым и И.А.Заком (1983г.) диссертантом предложена следующая зависимость для определения (доли ( $\alpha$ )) грунтовых вод в эвапотранспирации ( $\mathcal{E}_c$ ):

$$\alpha = \frac{U_r}{\mathcal{E}_c} = \frac{e^{10Et} I}{10(2,55 \frac{W}{100} - 0,299) T}; \quad (3)$$

где  $\alpha$  - доля грунтовых вод в суммарном испарении,

$U_r$  - испарение грунтовых вод, мм,

$\mathcal{E}_c$  - суммарное испарение, мм

$h$  - глубина залегания грунтовых вод, м,

$W$  - влажность в метровом слое почвы, %,

$T$  - сумма среднесуточных температур воздуха за декаду,  $^{\circ}\text{C}$ .

Расчитанные характеристики по этой зависимости удовлетворительные, в основном совпадают с данными экспериментальных исследований на водно-балансовых площадках. Связь испарения грунтовых водс нормой водоподачи обратная, при повышении поливных норм хлопчатника испарения уменьшается вследствие формирования инфильтрационных вод в зоне аэрации. Связь между суммой водоподачи ( $\Pi$ ) и месячной величиной испарения грунтовых вод ( $U_r$ ) имеет вид (4), которая справедлива для условий Голодной степи при мощности зоны аэрации 1-3 м.

$$U_r = 63,2 - \frac{\Pi}{2,77}; \quad (4)$$

При нулевой водоподаче испарение грунтовых вод составляет 63,2 мм, увлажнение с нормой 175 мм в месяц снижает расход из зоны полного насыщения до нуля. Дальнейшее увеличение водоподачи приводит к инфильтрационному питанию грунтовых вод.

В диссертационной работе обобщены материалы исследований за период 1969-1984 гг. по орошаемым регионам Узбекистана, на основании которых автор делает следующие выводы. Доля грунтовых вод в эвапотранспирации зависит от фазы развития хлопчатника. Развитие

Доля испарения грунтовых вод в эвапотранспирации по фазам развития хлопчатника

Таблица № 1

Оросительный регион и дата	Апрель					Май					Июнь					Июль					Август					Сентябрь					Среднее за веге- тацию
	I <sup>x</sup>					II					III					IV					V										
Муганская степь, 1969 г.	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,27					
Голодная степь, 1964 г.	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	-	-	-	-	-	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,15					
Каракалпакия, 1978г.	-	-	0,68	0,68	0,68	-	-	-	-	-	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	-	-	-	-	-	0,36					
Голодная степь, 1978г.	-	-	-	-	-	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	-	-	-	-	-	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20					
Голодная степь, 1984г.	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,21					
Каршинская степь, 1979 г.	0,04	0,04	0,40	0,40	0,40	-	-	-	-	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,19					
Каршинская степь, 1978г.	-	-	-	-	-	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	-	-	-	-	-	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,27					
Среднее	0,12	0,12	0,31	0,31	0,31	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44						

x фазы развития хлопчатника:

I - посев - всходы, II - всходы - бутонизация, III - бутонизация - цветение, IV - цветение - раскрытие коробочек, V - раскрытие - осенние заморозки

корневой системы способствует увеличению доли зоны полного насыщения в суммарном испарении, до 65-70% эвапотранспирации составляет движение влаги через корневую систему, зеленую массу растений, около 30-35% приходится на непродуктивное испарение через почвенную поверхность.

Фильтрационные воды формирующиеся в результате орошения коренным образом меняет процесс передачи влаги в атмосферу с зеркала грунтовых вод. В табл. № 1 приведены данные и доля грунтовых вод в эвапотранспирации с хлопкового поля с дифференциацией по фазам развития растений. При достаточной пестроте величин по регионам зависящей от климатической увлажненности, особенностей строения грунтов зоны аэрации, глубины залегания грунтовых вод, режима и нормы орошения можно констатировать зависимость доли грунтовых вод от запасов почвенной влаги в корнеобитаемой зоне. В начале вегетации и в периоды поливов испарения грунтовых вод характеризуется 13 и 16 процентами по отношению к эвапотранспирации. В межполивные сроки и в конце вегетационного периода вследствие уменьшения запасов влаги в почве подсос капиллярной влаги в корнеобитаемую зону усиливается, поэтому доля грунтовых вод увеличивается до 68% (табл. I). В 1984 г. в условиях Голодной степи из-за исключительно низких запасов влаги в зоне аэрации (в конце вегетационного периода, после завершения орошения) эвапотранспирация формировалась за счет грунтовых вод и ее доля составила 100%.

Доля грунтовых вод в фазе - I (посев - всходы) характеризуется небольшими значениями (0,04-0,19); в фазе - II (всходы - бутонизация) вследствие увеличения глубины проникновения корневой системы и развитости зеленой массы хлопчатника - возрастает (0,14-0,68); в фазе - III (бутонизация - цветения) в связи с поливами - уменьшается (0,01 - 0,57); в фазу - IV (цветения - раскрытия коробочек) под влиянием транспирации влаги через биомассу хлопчатника - сохраняется довольно высокий (0,08-0,37); в фазу - V (раскрытия коробочек - осенние заморозки) - вновь увеличивается и достигается 1,0, так как компенсация влаги расходуемой на эвапотранспирацию происходит за счет грунтовых вод.

Считаем, необходимым уточнение поливных норм на основе данных о доле грунтовых вод в суммарном испарении. В общем виде зависимость для уточненной поливной нормы будет иметь вид (5 и 6):

а) по абсолютной величине испарения грунтовых вод

$$M^{YT} = M^{CYW} - U_r \quad (5)$$

б) по доле испарения грунтовых вод

$$M^{YT} = M^{CYW} - \varepsilon_c \cdot \alpha \quad (6)$$

Уточненная на основе режима грунтовых вод поливная норма ( $M^{YT}$ ) равна существующей ( $M^{CYW}$ ) уменьшенной на величину испарения грунтовых вод.

В орошаемых регионах Туранской низменности вегетационный период характеризуется благоприятными условиями для россообразования и конденсации. В начале и конце этого периода, в утренние и ночные часы суток формируется отрицательный тепловой баланс деятельного слоя, который имеет 15 часовую продолжительность в течение 60 дней, 12 часовую - 120 дней. В период развития растений происходит конденсация паров из приземного слоя воздуха в почве.

В августе 1989 г. в Шерабадской степи величина конденсации в корнеобитаемой зоне составила 2160 м<sup>3</sup>/га. Осевшая на поверхность растений и почвы влага с началом солнечной радиации вновь испаряется в атмосферу, будучи почти неиспользованной в транспирации хлопчатником. Временно образующийся запас влаги, обреченный на непродуктивное испарение, можно magazинировать в почве, интенсифицировать методом спровоцирования конденсации, на площади хлопководства республики Узбекистан - 1,6 млн. га увеличить ресурс оросительной воды на 3,34 км<sup>3</sup>/год (около 100 м<sup>3</sup>/сек).

Конденсация влаги в активном слое почвы может существенно повлиять на интенсивность передачи влаги из зоны полного насыщения.

На хлопковом поле процесс влагообмена между зоной полного насыщения и приземным слоем воздуха характеризуется следующими стадиями: конденсации влаги в почве, застоя влаги (нулевого испарения) и расхода влаги из почвы.

На основе обобщений материалов исследований водно-балансовых станций проведенных под методическим руководством и непосредственном участии автора, расположенных в зоне хлопководства Туранской низменности диссертантом установлена основная закономерность испарения грунтовых вод. Испарение грунтовых вод прямо пропорционально недостатку почвенной влаги в активном слое, температура грунта, высоте капиллярной каймы, обратно пропорционально мощности зоны

аэрации, вязкости воды, зависит от особенностей развития растений, направленности влагообмена в деятельном слое и выражается зависимостью (7):

$$U_r = K \cdot \frac{W^{nrb} - W^p}{h} \quad (7)$$

где  $W^{nrb}$  - предельная полевая влагоемкость почвы в активном слое, мм,

$W^p$  - полевая влажность почвы или действующий запас влаги в активном слое, мм,

$h$  - глубина залегания грунтовых вод, м,

$K$  - коэффициент, зависящий от температуры грунта, растительного покрова, механического состава почв, минерализации и типа химического состава подземных вод, климатической увлажненности и т.д.

В диссертационной работе рассматриваются условия конденсации влаги в почвах хлопкового поля, дана количественная характеристика конденсации, полученной в Шерабадских степях в 1989-1990 гг.

В 10 см слое почвы суточная конденсация составила 0,8 гр, что в пересчете на корнеобитаемую зону (1,5 м) равняется 12,0 гр или 2160 м<sup>3</sup>/га за период вегетации.

На основе двухлетних экспериментальных работ, анализа существующих норм и режима орошения выработан прогноз полива хлопкового поля и даны рекомендации по снижению на 19,8% поливной нормы.

#### 1.5. Особенности формирования баланса грунтовых вод в орошаемых регионах

Баланс грунтовых вод изучали Г.Н.Каменский, А.В.Лебедев, Д.М.Кац, М.М.Крылов, Н.В.Роговская, Н.А.Кенесарин, П.А.Панкратов, А.А.Рачинский, П.Г.Григоренко, Н.М.Решеткина, Н.Н.Ходжибаев, А.Ф.Сляднер, Б.В.Чаповская и др., обосновавшие методику исследования локального и регионального баланса грунтовых вод. Однако вопросы классификации, структуры водного баланса, принципы выбора граничных условий, расчетных схем и периодов, а также балансового районирования орошаемых регионов изучены еще слабо.

Согласно проработкам автора, нижняя граница балансового слоя при составлении региональных расчетов устанавливается по региональному водоупору, при отсутствии такового - по относительному; боковая - по контакту четвертичных образований с выходами

коренных пород мезозойско-кайнозойского или кайнозойского возрастов и др. Верхняя граница - поверхность земли. Контурные границы выбираются в зависимости от целевого назначения исследований: на основании геоструктурных признаков (для межгорных впадин по гребню водораздела); по линии выхода коренных пород, т.е. от начала формирования четвертичных образований; по зоне формирования покровных суглинков; по линии, оконтуривающей начало неглубокого залегания грунтовых вод, или зоны проявления вертикального водообмена.

Обобщая результаты наблюдений по испарению грунтовых вод, автор пришел к заключению, что основными факторами испарения грунтовых вод являются испаряемость, глубина залегания, разновидность грунтов и характер деятельной поверхности. Для условий Кура-Араксинской низменности, с учетом сказанного выше, предлагается зависимость для расчета испарения грунтовых вод (8).

$$U_r = \frac{\epsilon_c \cdot \alpha}{2h} \cdot 10^3 \text{ мм/год} \quad (8)$$

где  $\epsilon_c$  - испаряемость, мм/год;  $\alpha$  - доля грунтовых вод в общем испарении;  $h$  - глубина залегания грунтовых вод, м. Значение " $\alpha$ " зависит от транспирационных способностей, развития корневой системы растений, вертикальной водопроницаемости грунтов. Выразив  $\frac{\alpha}{2h}$  через  $q$ , можно записать

$$U_r = \epsilon_c \cdot q \cdot 10^3 \quad (9)$$

С учетом коэффициента  $m$ , выражающего разновидность грунтов, указанная зависимость примет следующий вид:

$$U_r = \epsilon_c \cdot q \cdot m \cdot 10^3 \quad (10)$$

Если принять во внимание влияние деятельной поверхности, то можно записать

$$U_r = \epsilon_c \cdot q \cdot m \cdot p \cdot 10^3 \quad (11)$$

В условиях Средней Азии (при ничтожном увлажнении) для расчета испарения грунтовых вод предлагается зависимость (12)

$$U_r = (\epsilon_c \cdot \frac{q}{2h} + 0,1 \epsilon_c) \cdot 10^3 \quad (12)$$

При мощности зоны аэрации более 2 м наилучшие результаты получены по уравнению (12)

$$U_r = \frac{\epsilon_c}{2h} (\alpha + 0,01 h^2) \cdot 10^3 \quad (13)$$

Предложенные эмпирические зависимости не являются окончательными и нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Установлены относительная малокомпонентность природного водного баланса грунтовых вод, преобладающее значение подземных составляющих, естественное выклинивание. Для элементов естественного баланса характерна относительная стабильность по сезонам года и за многолетие.

В условиях орошения из-за фильтрационных потерь ресурсы подземных вод увеличиваются на порядок и более. В Ферганской долине потери из каналов составляют 77,3% от суммы приходных статей. В процессе орошения потери поливных вод (43,0 м<sup>3</sup>/с) пополняют запасы грунтовых вод. В этих условиях приобретают большое значение дренажный сток - 54,9 м<sup>3</sup>/с и отбор подземных вод - 16,8 м<sup>3</sup>/с. Нарушенное испарение грунтовых вод по сравнению с природным увеличивается в три с лишним раза.

В Голодной степи инфильтрационные потери из каналов составляют 41,90%, на орошаемых полях - 43,6% от суммы приходных статей, а дренажный сток - 36,4% суммы расхода.

#### 1.5. Особенности формирования режима грунтовых вод в орошаемых регионах

Изучение режима подземных вод орошаемых регионов посвящены труды основоположников гидрорежимной службы в Средней Азии: О.К. Ланге, М.А.Шмидта, В.А.Ковды, М.К.Крылова, Н.В.Роговской, Н.А. Кенесарина. Закономерности формирования уровня, гидрохимического режима грунтовых вод в условиях орошения освещены Д.М. Кацем, Н.Н.Ходжибаевым, В.А.Гейнцем, П.А.Панкратовым, Г.Ю.Исрафиловым, А.Г.Владимировым, П.Г.Григоренко, Н.М.Решеткиной, Ф.М. Рахимбаевым, М.М.Мальцевым, О.Н.Ниязовым, Б.Я.Нейманом, В.Г.Самойленко и др.

Исследование режима грунтовых вод осуществляется согласно теоретическим и методологическим положениям, основанным В.А. Приклонским, Г.Н.Каменским, О.К.Ланге, М.Б.Альтовским, А.А.Коноплянцевым, Д.М.Кацем, М.А.Кенесариным, М.М.Крыловым, Н.Н.Ходжибаевым. Анализ режима грунтовых вод выполнен с применением методов периодического анализа, составления хронологического графиков, построения разностных интегральных кривых, сглаживания ломанных линий по скользящим средним 12-леткам, а также корреляционного анализа.

Стационарные наблюдения были начаты в 1928 г. Установлено,

Канал  
испаряется

85,5%  
от  
К-75

М.Кейто  
П.п  
4.



Таблица 3

## ТИПИЗАЦИЯ НАРУШЕННОГО МНОГОЛЕТНЕГО (УРОВЕННОГО) РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД

Ирригационный	
Тип	Гидрогеолого-ирригационный
Подтип	Гидролого-ирригационный
Класс	Установившийся
Вид	Слабодренитовая территория
Тип	Промышленный
Подтип	Мелиоративно-ирригационный
Класс	Установившийся
Вид	Слабодренитовая территория
Тип	Гидротехнический
Подтип	Мелиоративно-ирригационный
Класс	Установившийся
Вид	Слабодренитовая территория

ного влияния рек.

В режиме грунтовых вод новоорошаемых территорий выделяются природный, переходный, техногенный, вторично-техногенный этапы формирования. В переходном изменении параметров режима характеризуются большими амплитудами; в техногенном режиме может быть устойчиво ирригационным и неустойчиво ирригационным; во вторично-техногенном амплитуды изменения параметров режима вновь могут возрасти в зависимости от интенсивности и характера действия антропогенного фактора.

Режим рассматривается автором как отображение процесса формирования грунтовых вод, взаимодействия различных структурных уровней зоны полного насыщения природно-техногенных комплексов. Информация о цикличности климатических факторов в названных уровнях передается в зону насыщения без деформации при отсутствии или незначительном техногенном влиянии. Преобладание антропогенного фактора значительно ее изменяет, чем, видимо, объясняются некоторые отличия в продолжительности циклов хода уровня грунтовых вод различных участков, наряду со специфической гидрогеологической обстановкой, при прочих равных условиях.

Исследуемая территория районирована по продолжительности циклов в ходе уровня грунтовых вод. За основу принята карта геоморфологических условий с выделением районов по рельефу: горный, предгорный равнин, долин рек, песчаных равнин, останцовых гор и возвышенностей. В районах выделены участки по продолжительности ритмов - 22 года, II лет, -6-7 лет.

На основании результатов личных исследований и анализа литературных источников автором предложена генетическая типизация многолетнего режима грунтовых вод хлопковой зоны, являющаяся дополнением к существующим классификациям. В соответствии с О.К. Ланге и М.А.Шмидтом, Г.А.Гейнцем и др., выделены естественный и нарушенный уровенные режимы (табл.2 и 3). Первый распространен главным образом в горной зоне, за исключением участков искусственного водосточника и строительства плотин; в речных долинах с естественным режимом водотоков; в верховьях конусов выноса рек; в неорошаемых зонах, расположенных выше и по периферии возделываемых и затронутых ирригацией массивов. Второй характерен для староорошаемых земель, введенных недавно под орошение и находящихся внутри уже освоенных территорий - переложенные земли с незначительной мощностью зоны аэрации.

РАЗДЕЛ 2. СИНТЕЗ НАУЧНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ФОРМИРОВАНИЯ  
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ЗОНЕ  
ХЛОНКОВОДСТВА ТУРАНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

2.1. Оценка новых параметров гидрогеологических условий  
орошаемых территорий.

Для выявления особенностей развития гидромелиоративных условий с площадной характеристикой необходимы научные разработки. Примером таких разработок является оценка мобильности гидрогеологических условий.

Автором предлагается коэффициент мобильности зоны аэрации ( $K_{аз}$ ), выражающий отношение площади с определенным контуром глубины залегания грунтовых вод на достигнутое время ( $S_2$ ) к исходной ( $S_1$ ).

$$K_{аз} = \frac{S_2}{S_1} \quad \text{— конечная площадь, км}^2(\text{га}) \quad \text{(14)}$$

— начальная площадь, км<sup>2</sup>(га)

Орошаемые территории с коэффициентом, равным 1,0, стабильны (мощность зоны аэрации не изменяется), т.е. влияние орошения на них не сказывается из-за глубокого залегания грунтовых вод и хорошей естественной дренированности, или ирригационный режим является настолько установившимся, что к существенным изменениям мощности зоны аэрации не приводит. Территории с  $K_{аз}$  от 0,75 до 1,25 автор относит к слабомобильным, когда изменения площадей с определенными мощностями зоны аэрации не превышают 25% по сравнению с исходными.  $K_{аз}$  равен 0,50+1,50, территории считаются среднемобильными. При изменении указанного коэффициента от 0,10 до 2,0 и более территория принимается за сильноmobileную, т.е. здесь влияние ирригационно-хозяйственного фактора является сильным и приводит к значительным изменениям зоны насыщения.

При выводе коэффициента мобильности зоны аэрации использовались однозначные экстремальные значения режима грунтовых вод (только между максимумами или только между минимумами) по среднемесячным и среднегодовым данным. Основным фактическим материалом служили карты глубин залегания грунтовых вод, масштаб которых зависит от размеров изучаемой площади: для орошаемых регионов, ирригационных систем: 1:200 000 — 1:100 000, для части их 1:50 000 — 1:25 000, для территории опытно-балансовых участков 1:10 000 и крупнее.

Расчет коэффициентов и анализ условий орошаемых территорий производится на примере ирригационно-затронутых земель Среднеазиатского региона и Ширванской степи (Азербайджан). Основными показателями служили изменения площадей с различной глубиной залегания и минерализацией грунтовых вод, скорости их по этапам освоения или срокам гидрогеологической изученности.

Для расчета выбраны данные по Голодной степи с 1919 по 1970 гг. включительно. Площадь исследования (6159,3 км<sup>2</sup>), охватывающая зону Южно-Голодностепского канала, с юга оконтурена линией трассы канала, с запада — предгорьями Писталли и Балнктау, с северо-запада — Арнасайским понижением, с севера и востока — р.Сырдарьей; она была разделена на контуры с глубиной залегания грунтовых вод менее 5,5-10, 10-20 и более 20 м и по срокам гидрогеологической изученности: 1919-1929, 1929-1960, 1960-1966, 1966-1970 гг.

В связи с развитием орошения в Голодной степи происходит существенное перераспределение грунтовых вод. Изменения были достаточно чувствительными еще в 1919-1929 гг., территории с глубинами залегания менее 5 м и 10-25 м претерпели наибольшие изменения. В частности, площади с глубиной до 5 м сократились 2062,0 (1919 г.) до 1178,1 (1929 г.) км<sup>2</sup>, т.е. на 883,9 км<sup>2</sup>. Скорость мобильности зоны аэрации составила 88,4 км<sup>2</sup>/год. В 1929-1969 гг. вновь наблюдается увеличение площадей с глубиной залегания грунтовых вод до 5 м с 1178,1 до 3522,8 км<sup>2</sup>. В этот период коэффициент мобильности зоны аэрации составил 2,99, что характеризует эти территории как сильноmobileные. В 1970 г. мобильность еще более возрастает, площади с глубиной залегания менее 5 м составляют 4792,4 км<sup>2</sup>, или 77,8% общей изучаемой территории.

В Голодной степи с 1960 г. в целом наметилась тенденция к увеличению мобильности зоны аэрации; наиболее интенсивные изменения происходят с 1966 г. В контуре глубины залегания грунтовых вод менее 5 м скорость мобильности зоны аэрации в 1966-1970 гг. достигает 209,9 км<sup>2</sup>/год; в контуре 10-20 м — 136,2 км<sup>2</sup>/год; более 20 м — 54,4 км<sup>2</sup>/год. Анализ материалов показывает, что скорости мобильности зоны аэрации в данном регионе выше, чем в Ширванской степи. Оценку динамики площадей с различной минерализацией грунтовых вод предлагается производить с помощью коэффициента гидрохимической мобильности.

Коэффициент  $K_{гх}$  выражает отношение исходной площади конту-

## 2.2. Типизация факторов формирования грунтовых вод орошаемых регионов

Факторы, оказывающие прямое воздействие на грунтовые воды, названы автором базовыми, а косвенные – следственными; по длительности воздействия установлены постоянно и временно действующие факторы.

Ввиду регионального развития и действия антропогенной составляющей окружающей среды (эксплуатация крупных месторождений газа и нефти, подземных вод артезианских бассейнов и др.) некоторые факторы (геологические) приобретают техногенную причинность.

Между факторами природно-техногенного комплекса существуют прямые и обратные связи, развивающиеся с течением времени, как и объект их действия – зона насыщения.

В различной степени изучены космические, геологические (гидросейсмологические) факторы, почти не исследованы естественно-электрогенные и техно-электрогенные, остальные количественно и качественно охарактеризованы недостаточно.

## 2.3. Установление структурных уровней подсистемы орошаемого поля

Каждая ирригационная система со свойственным ей гидрогеологическими и гидродинамическими условиями, водной нагрузкой, степенью дренированности создает свою напорность в зоне насыщения с подземными водами определенного качества, взаимосвязанную с примыкающими ирригационными системами. Таким образом, речь идет о наличии автоволи ирригационных систем, представляющих собой мозаику распределения напорностей, химического состава, степени загрязненности, температуры и других свойств подземных вод в плане и по вертикали и формирующихся и развивающихся под влиянием техногенного воздействия на грунтовый водоносный горизонт, обуславливающих мобильность гидрогеологической обстановки орошаемых регионов.

Распространенность автоволи зависит главным образом от мощности головного водозабора, конструкции ирригационной сети и мощности осушительных сооружений, фильтрационных способностей покровных образований, уровня землепользования, водности года. Гидроклиматическая изменчивость среды, динамика действующих факторов делают непостоянными, мигрирующими границы автоволи иррига-

ционных систем, формирующихся в результате взаимодействия наземной и подземной водных сфер и влияния на них техногенного фактора.

Рассматривая в качестве объекта исследования и значение подземных вод в формировании подсистемы орошаемого поля с точки зрения изменения окружающей человека среды, нами предложена следующая структура зоны полного насыщения природно-техногенного комплекса.

Изучаемый объект характеризуется определенными структурными уровнями по вертикали и в плане. По вертикали устанавливаются два яруса (верхний и нижний), в плане – один, в каждом из них – несколько структурных уровней, различающихся составом материальной среды, дифференциацией свойств, комплексом действующих факторов. Взаимодействуют уровни также неодинаково.

Первый структурный уровень верхнего яруса – грунты и почвы, слагающие зону аэрации и грунтовые воды. В орошаемых районах они состоят преимущественно из мелкоземистых образований.

Второй структурный уровень – растительный покров. По материальности среды он в корне отличается от зоны аэрации и представлен в основном двумя компонентами – воздухом (приземным слоем) и массой естественных или культурных растений.

Функционирование этого уровня зависит от естественного увлажнения, теплообеспеченности, субиригации и техногенного фактора. Зеленая масса формирует микроклимат, действуя на приземный слой атмосферы.

Третий уровень – экологически активный слой атмосферы. Название это вытекает из расположения его по отношению к поверхности земли, и характеризуется он быстротой смены свойств в течение дня и суток, определяемой состоянием развития зеленой массы и атмосферы в целом.

Четвертый – экологически менее активный слой атмосферы. Влияние первого и второго уровней ослаблено воздействием третьего.

Первый структурный уровень нижнего яруса – горизонт субнапорных вод в отложениях четвертичного возраста. Образование преимущественно аллювиально-пролювиальными осадками (галечниками, супесями, суглинками, глинами). Плотный остаток и химический состав жидкой фазы изменяются в широких пределах. Водоносный горизонт обладает местным напором, возрастающим от областей питания к зонам разгрузки.

На субнапорные воды воздействуют климатические, гидрогеологические факторы. Состояние и свойства их формируются под действием грунтовых и межпластовых водоносных горизонтов.

Второй структурный уровень – горизонт межпластовых вод мезозойско-кайнозойских образований. Коллекторские породы характеризуются метаморфизованностью, жидкая фаза обладает достаточно высоким напором, обуславливающим подпитывание верхних этажей через разделяющий слой горизонта; при соответствующих условиях возможен переток из верхних горизонтов в нижние.

Третий уровень – горизонт подземных вод палеозойских и допалеозойских образований, так называемый этаж формирования седиментационных вод, разгружающихся в центральных частях межгорных впадин и краевых зонах – на сводах антиклинальных складок.

В системе орошаемого региона выделяется девять горизонтальных структурных уровней. К первому относится ирригационная система пятого порядка с площадью 5–10 тыс. га, водопользованием 5–10 м<sup>3</sup>/с, комплексом коллекторно-дренажной сети, ирригационных каналов, эксплуатацией подземных вод и других составляющих природно-техногенного комплекса. Второй представляет собой ирригационную систему четвертого порядка площадью 10–25 тыс. га, водопользованием 10–25 м<sup>3</sup>/с. Третий охватывает ирригационную систему третьего порядка с орошаемой площадью 25–50 тыс. га, водопользованием 25–50 м<sup>3</sup>/с. Четвертый представлен ирригационной системой второго порядка с площадью 50–100 тыс. га, водопользованием 50–100 м<sup>3</sup>/с. Указанные структурные уровни обычно не выходят за пределы одного геоморфологического района. Пятый уровень – ирригационная система первого порядка с площадью 100–250 тыс. га, водопользованием 100–250 м<sup>3</sup>/с, например, зона действия Южно-Голодностепского канала, охватывающая несколько геоморфологических районов. Шестой совпадает с орошаемым регионом (Голодная степь, Ферганская долина, Каршинские степи и др.), с площадью около 1 млн. га и водопользованием более 500 м<sup>3</sup>/с. Включает несколько ирригационных систем первого порядка (Южно-Голодностепский и Кировский магистральные каналы в Голодной степи). К седьмому относится речной бассейн, обычно охватывающий несколько орошаемых регионов: к восьмому – орошаемые земли, расположенные в бассейне Аральского моря (бассейн рек Сырдарья и Амударья). Девятый структурный уровень назван континентальным, может включать земли, относящиеся к группе морских бассей-

нов.

Таким образом, орошаемое поле, рассматриваемое как наименьшая единица в системе природно-техногенного комплекса, является частью ландшафта, представляет совокупность взаимодействующих природных и искусственных объектов. В плане границами подсистемы орошаемого поля являются каналы и коллекторы, оросители и дрены; снизу она ограничена подстилающими почвенные горизонты отложениями; сверху приземным слоем атмосферы.

Изменчивость гидрогеологических и водохозяйственных условий объясняется непостоянством граничных условий в плане. Это позволяет утверждать, что подсистема орошаемого поля является открытой, развивающейся.

## 2.5. Эффективность научных исследований

В 1966–1984 гг. нами осуществлялось курирование деятельности гидрогеологических и инженерно-геологических партий, функционирующих в Средней Азии, Azerbaidzhanе и Южном Казахстане, в частности уточнялась методика режимных работ, пересматривалась сеть опорных и ожидаемых наблюдательных пунктов и т.д.

Экономический эффект от сокращения малоэффективных наблюдений за термическим режимом подземных вод по 2603 пунктам составил:

$$\mathcal{E} = (C_1 - C_2) \cdot A \cdot T = (1,59 - 0,47) \cdot 2603,72 \cdot 12 = 2518 \text{ тыс. руб.}$$

В результате внедрения разработок по теме диссертационной работы в 19 объектах достигнут экономический эффект 1109,19 тыс. руб.; при затратах на научные исследования 184,4 тыс. руб., эффективность составила 5,9 руб. на один рубль затрат.

Суммарный эффект от научных исследований и результатов оказания научно-методической помощи гидрогеологическим партиям составил:

$$\mathcal{E} = 2,518 + 1,109 = 3,63 \text{ млн. руб.}$$

Наши разработки могут быть внедрены в гидрорежимных партиях Киргизии, Таджикистана, Туркмении, в проектных и научно-исследовательских институтах, занимающихся проектированием и эксплуатацией гидромелиоративных систем, мелиоративным контролем, а также в УГМС. Ожидаемая эффективность – более 1,4 млн. руб. (в масштабах цен 1983 г.).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Обобщение материалов многолетних исследований позволили установить зависимости испарения грунтовых вод от природных и техногенных факторов, автором внесен вклад в разработку теории процесса. Основная закономерность испарения грунтовых вод установленная диссертантом гласит: испарение грунтовых вод прямо пропорционально недостатку почвенной влаги в активном слое, температуре грунта, высоте капиллярной каймы, обратно пропорционально мощности зоны аэрации, вязкости воды, зависит от особенностей развития растений, направленности влагообмена в деятельном слое.

Испарение при прочих равных условиях зависит: а) от механического состава почв, в супесях и песках оно меньше соответственно на 20 и 40% по сравнению с суглинками из-за различия в капиллярных свойствах; б) от минерализованности грунтовых вод, увеличение величины плотного остатка на 10 г/л снижает расход влаги на 27% вследствие повышения вязкости воды; в) от химического состава грунтовых вод, при карбонатном типе минерализации испарение в среднем на 30% меньше по сравнению с хлоридным в результате изменения физического состояния почв. В маловодные годы испарение из зоны полного насыщения усиливается на 15-20% по сравнению с многоводными периодами.

Литологическое строение грунтов влияет на ход водообмена в зоне аэрации. Интенсивность движения влаги на линии раздела слоев может быть изменена в зависимости от расположения толщи с высокой проницаемостью и зеркала воды.

Испарение из грунтов с нарушенной структурой впервые годы больше за счет облегченности аэрации, в последующие периоды под влиянием уплотнения почв эта особенность сглаживается.

Корневая система и зеленая масса растений является определяющими в формировании испарения грунтовых вод. При естественной растительности, хлопчатника, овощных культурах, люцерна первого года посева, свекле и других имеет место обратная зависимость расхождения влаги от мощности зоны аэрации. В условиях произрастания люцерны второго и третьего годов посева с увеличением глу-

бины залегания грунтовых вод интенсивность испарения из зоны полного насыщения растет, что объясняется увеличением глубины проникновения, массой волосистых сосущих корней. Между глубиной залегания грунтовых вод и поливной нормой существует прямая зависимость, в суглинистых почвах оптимальная мощность зоны аэрации - 1,5 м. В староорошаемой зоне Голодной степи на хлопковом поле при месячной норме увлажнения 175 мм прекращается расход грунтовых вод, дальнейшее увеличение увлажнения приводит к инфильтрационному питанию.

В орошаемых регионах Узбекистана доля грунтовых вод в суммарном испарении по фазам развития хлопчатника изменяется от 4 до 68%, в конце вегетационного периода ввиду отсутствия поливов достигает 100%, расход влаги из зоны аэрации компенсируется за счет грунтовых вод.

На орошаемом поле процесс влагообмена между зоной полного насыщения и приземным слоем воздуха характеризуется явлениями конденсации влаги в почве, застоя влаги (нулевого испарения) и расхода влаги из почвы.

Установление зависимости испарения от природных и техногенных факторов дает возможность уменьшения поливных норм, дифференцированного определения режима интенсивности хлопчатника, уменьшение непродуктивного испарения грунтовых вод, сбережения запасов их для орошения.

2. Выявлены особенности формирования баланса и режима грунтовых вод орошаемых регионов. Естественный водный баланс грунтовых вод малокомпонентен, функциональная связь между отдельными его составляющими выражена слабо из-за относительной стабильности гидрогеологической обстановки, действующих факторов. В условиях орошения увеличивается компонентность структуры регионального водного баланса и значительно возрастают ресурсы подземных вод. Под техногенным воздействием усиливается функциональная связь между элементами в соответствии с интенсивностью действующих факторов и возмущений зоны насыщений природно-техногенного комплекса.

Усовершенствованы методы определения, расчета регионального баланса грунтовых вод. Предложена генетическая классификация многолетнего естественного нарушенного режима по ходу уровня грунтовых вод, с установлением в каждом из них типов, классов,

подклассов, видов. В многолетнем режиме грунтовых вод орошаемых территорий установлена цикличность: 22-летняя - высоких предгорьях; II - в среднем гидродинамических зонах, высоких террасах речных долин; 6-7 - в зоне выклинивания и вторичного погружения на нижних террасах речных долин; 3-4 - в зоне активного влияния рек, саев.

В режиме грунтовых вод выделены природный, переходный, техногенный и вторично-техногенный этапы формирования. В переходном этапе параметры характеризуются значительной изменчивостью, в техногенном выделяются устойчиво-ирригационный и неустойчиво-ирригационный типы режима грунтовых вод.

3. Выявлена структура зоны полного насыщения природно-техногенного комплекса орошаемого региона. Эту зону следует рассматривать как часть системы - окружающей среды человека. Комплекс водоносных горизонтов структурно взаимосвязан с приземным слоем воздуха, растительным покровом, почво-грунтами, наземной гидросферой. Отклонения в орошаемых и мелиорируемых структурных уровнях в результате количественных и качественных изменений приводят к деформациям в зоне полного насыщения. Грунтовый водоносный горизонт находится в прямых и обратных связях с расположенными выше структурными уровнями, воздействует на них, являясь одним из главных факторов их эволюции. Орошаемое поле является открытой, саморазвивающейся, структурнообразованной, регулируемой подсистемой природно-техногенного комплекса.

Разработан пример системного подхода к анализу гидрогеологических условий регионов Средней Азии, что позволило определить положение о подсистеме орошаемого поля как наименьшей единице природно-техногенного комплекса. Выявлены структурные уровни по вертикали и в плане. Вертикальные делятся на верхний и нижний ярусы. К верхним относятся грунты и почвы, растительный покров и приземный слой воздуха, экологически менее активный нижний слой атмосферы; к нижним - горизонт субнапорных вод, напорные водоносные горизонты.

К первому горизонтальному структурному уровню относится ирригационная система пятого порядка, ко второму - четвертого, к третьему - третьего, четвертому - второго, пятому - первого порядка, шестому - орошаемый регион, седьмому - речной бассейн, восьмому - морской бассейн, девятому - группа морских бассейнов.

Уровни более высокого порядка связаны с межбассейновыми и межконтинентальными условиями. Каждый структурный уровень характеризуется специфическими строениями, свойствами. Часть структурных уровней непостоянна во времени, мигрирует или временно не функционирует.

Структура подсистемы орошаемого поля включает космический, климатический, геологический, естественно-электрогенный, антропогенный факторы. Для последнего характерны ирригационные, гидротехнические, промышленные, агротехнические, техноэлектрогенные разновидности.

4. Установлены автоволны ирригационных систем. Влияние ирригационно-хозяйственного фактора не ограничивается лишь горизонтом грунтовых вод, и распространяется опосредованно вниз - до регионального водоупора, вверх - до нижних слоев атмосферы, а в плане действует на группу ирригационных систем.

Структурные генетические связи между отдельными звеньями природно-техногенного комплекса способствует формированию эволюции подсистемы орошаемого поля, основы развития которой заложены в ней самой (базис), а окружающая среда является своего рода надстройкой.

Изменения качества, количества, гидродинамического состояния подземных вод, вызванные каждой ирригационной системой в отдельности, распространяющиеся в плане и по вертикали, называются автоволнами ирригационных систем, миграция их зависит от интенсивности техногенного воздействия, свойств, состояния зоны насыщения и примыкающих систем.

5. Выявлены специфические коэффициенты, положенные в основу методики площадной оценки изменения грунтовых вод.

Анализ структуры природно-техногенного комплекса, материалов многолетнего картографирования, техногенный подход к изучению грунтовых вод позволил выработать новый метод исследования формирования зоны полного насыщения, основанный на изменении гидрогеологических условий в связи с орошением, осушением, а также коэффициенты мобильности зоны аэрации, гидрохимической мобильности и их скоростей. Указанные параметры изменчивы во времени и пространстве, их динамика соответствует стадийности формирования гидрохимического режима грунтовых вод.

Мобильность зоны аэрации, динамика зоны насыщения с минерализацией и типом химического состава воды различаются в зависи-

мости от стадий формирования многолетнего режима грунтовых вод.

Анализ условий орошаемых массивов, основанный на оценке мобильности зоны аэрации, динамичности площадей с различной минерализацией и химическим составом грунтовых вод, позволяет достоверно оценить вероятную изменчивость гидромелиоративных условий, по-новому подойти к изучению площадных гидромелиоративных условий орошаемых районов, с учетом взаимодействия структурных уровней. Именно этим наш подход к оценке окружающей среды отличается от традиционного — точечного.

6. Определены некоторые аспекты влияния регионального орошения на степень региональной аридности. Воздействие человека на окружающую среду, связанное с региональным орошением и переброской стока рек в бассейн Аральского моря, может привести к некоторому снижению аридности, изменениям закономерностей поверхностного стока и подземного стока из региона.

В связи с повышением увлажненности, а следовательно, и уменьшением сухости под действием регионального орошения и вследствие его гидроклиматического эффекта, в отдельных случаях смягчение региональной аридности от пустынь к горным возвышенностям может существенно прогрессировать в силу изменения теплового баланса и затраты части солнечной энергии на испарение техногенно-почвенной влаги.

7. Общий экономический эффект от внедрения основных положений диссертационной работы составил 3 млн. 627 тыс. руб. Расчетный коэффициент эффективности — 5,9 руб./руб. (В масштабах цен 1983 г.)

Зона насыщения природно-техногенных комплексов формируется под ирригационно-хозяйственным влиянием социально-организованной общности людей на фоне естественных условий. Необходимы исследования функциональной зависимости элементов баланса, закономерностей формирования подземных вод под техногенным воздействием человека на основе системного подхода.

Дальнейшие исследования должны быть исправлены на изучение влияния антропогенного фактора воздействия на зону полного насыщения природно-техногенных комплексов ее структурных связей с окружающей средой, разработку и применение новейших методов площадей оценки изменения гидрогеологических условий в целях научных основ прогнозирования экологических изменений.

В целях экономии грунтовых вод и снижения промышленных норм необходимы поиски снижения непродуктивного испарения грунтовых вод, сработкой их зеркала, снижения скорости их вертикального движения на основе применения полимерных гидрогелей, обеспечивающих уменьшение проницаемости, увеличение водоудерживающих свойств активного слоя почвы.

Необходима интенсификация научных исследований влагообмена между горизонтом грунтовых вод и приземным слоем атмосферы для разработки новых технологий получения дополнительных ресурсов оросительной воды, основанной на конденсации влаги и спровоцирования ее на основе применения полимерных гидрогелей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора.

#### И. М о н о г р а ф и и

1. Методика составления водного баланса межгорных впадин. Ташкент, Фан, 1973, с.116 (совместно с Г.А.Мавляновым).
2. Испарение в средней и верхней частях бассейна р.Сырдарьи. Ташкент, Фан, 1974, с.78.
3. Испарение и инфильтрационное питание грунтовых вод (на примере орошаемых земель). Ташкент, Фан, 1980, с.218.
4. Многолетний режим грунтовых вод орошаемых территорий в бассейне Аральского моря. Ташкент, Фан, 1980, с.136 (совместно с Г.А.Мавляновым).
5. Основы гидрорежимных исследований в Узбекистане. Ташкент, Фан, 1982, с.142 (совместно с Г.А.Мавляновым).

#### II. Н а у ч н ы е с т а т ь и

6. Баланс грунтовых вод зоны I МТС Сырдарьинского района. Сб.Материалы к освоению Голодной степи. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1959, с.102-103.
7. О запасах подземных вод Шахристанской котловины. Докл.АН УзССР, 1960, № 6, с.12-13.
8. О результатах применения графиков Полякова Б.В. для определения суммарного испарения в Шахристанской котловине. В кн.: Материалы Межведомственного совещания по проблеме изучения испарения с поверхности суши. Валдай, Изд-во ГГИ, 1961, с.231-232.
9. К применению метода Полякова Б.В. для определения суммарного испарения в условиях Средней Азии. Узб.геол.журн., 1961, № 6, с.57-61.
10. Водный баланс Шахристанской котловины и некоторые методы использования подземных вод для орошения. Узб.геол.журн., 1961, № 3, с.37-42 (совместно с Р.В.Бородиным).
11. О гидрогеологических условиях Шахристанской котловины. Узб. геол.журн., 1962, № 2, с.53-58.
12. Методика составления водного баланса межгорных впадин на примере Шахристанской котловины. В кн.: Вопросы геологии Узбекиста-

на, вып.3, Ташкент, Фан, 1962, с.145-152.

13. О возможности получения дополнительных источников воды в Шахристанской котловине за счет глубоких горизонтов. Узб.геол. журн., 1963, № 4, с.83-86.
14. О влиянии орошения на режим грунтовых вод совхоза "Дружба". Сб.Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 4, Ташкент, Фан, 1963, с.125-127 (совместно с А.Н.Пурадиловым).
15. Комплексное изучение испарения в Шахристанской котловине. Сб.Материалы межведомственного совещания по проблеме регулирования испарения с водной поверхности и почвы. Валдай, Изд-во ГГИ, 1964, с.132-133.
16. К методике составления водного баланса горных районов и некоторые вопросы балансового районирования. Сб.Материалы совещания по вопросам экспериментального изучения водного баланса речных водосборов. Валдай, Изд-во, ГГИ, 1965, с.45-47.
17. Влияние Южно-Голодностепенского канала на режим уровня грунтовых вод. Узб.геол.журн., 1965, № 4, с.45-49 (совместно с А.Ф.Слядневым).
18. Поверхностный сток с северного склона Туркестанского хребта. Узб.геол.журн., 1965, № 2, с.11-18 (совместно с А.Ф.Слядневым).
19. Результаты применения гидрометрических исследований на гидрогеологических станциях Узбекистана. Сб.Материалы межведомственного семинара по методике гидрометрической оценки подземного стока в реки. Валдай, Изд-во ГГИ, 1966, с.112-113.
20. Результаты водно-балансовых исследований в Узбекистане. Сб.Юбилейная научная сессия АН УзССР, посвященная 60-летию Советской власти. Ташкент, 1969, с.89-94 (совместно с А.Ф.Слядневым).
21. Методика составления регионального водно-солевого баланса орошаемых территорий. Сб.Материалы межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. Вып.1, Минск, Колос, 1969, с.146-148.
22. К методике балансовых исследований. Узб.геол.журн., 1970, № 5, с.56-58.



23. К автоматизации замера уровня грунтовых вод. Узб.геол.журн., 1971, № 2, с.109-110 (совместно с М.И.Исмаиловым).
24. К определению глубокой инфильтрации. Узб.геол.журн., 1971, № 3, с.59-61.
25. К гидрогеологическому районированию горных территорий. Узб. геол.журн., 1972, № 5, с.25-28.
26. К изучению зависимости испарения грунтовых вод от литологического строения зоны аэрации. Узб.гесл.журн., 1973, № 6, с.20-22.
27. К установлению оптимальной площади лизиметров. Узб.геол.журн., 1974, № 6, с.24-26.
28. Уравнение связи испарения грунтовых вод с глубиной их залегания. Узб.геол.журн., 1977, № 2, с.55-59 (совместно с О.В.Кутяковой).
29. Районирование хлопковой зоны СССР по величине суммарного испарения грунтовых вод. Узб.геол.журн., 1977, № 6, с.89-90.
30. Интерпретация лизиметрических данных для целей гидромелиоративных прогнозов. Сб.Материалы 3-го межведомственного совещания по вопросу прогнозирования гидрогеологических и инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных условий. Вып.2, М., Колос, 1977, с.125-129.
31. Рекомендации по обработке материалов наблюдений за режимом подземных вод и водно-балансовых исследований. М., Изд-во ВСЕГИНГЕО, с.98 (совместно с В.А.Бароном и Ю.Г.Планиным).
32. Влияние растительности на расходование грунтовых вод. Узб. геол.журн., 1979, № 1, с.83-87.
33. Гидроэкология - новое научное направление. Узб.геол.журн., 1980, № 2, с.78-80.
34. Процессы испарения и инфильтрационного питания грунтовых вод в орошаемых районах аридной зоны СССР. Тезисы IV межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии, инженерной геологии и мелиоративному почвоведению. Методы гидрогеологических, инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных прогнозов, М., Колос, 1980, с.57-61.

35. К прогнозу гидрогеологических условий низовьев Амударьи в связи с возможным распределением стока сибирских рек. Узб.геол. журн., 1981, № 5, с.64-67.
36. Результаты системного анализа формирования подземных вод орошаемых регионов. Материалы I Всесоюзной гидрогеологической конференции, т.1, М., Наука, 1982, с.169-172.
37. Изучение влияния химического состава и концентрации растворов на проницаемость грунтов. Узб.геол.журн., 1983, № 1, с.43-45 (совместно с О.В.Кутяковой, Б.А.Шакировым).

---

Подписано в печать. Формат 60.Х.1/16. Усл.печ.л.2,0. Тираж 100 экз.  
Заказ

---

ПО "Узбекгидрогеология", Ташкент, 700041, ул.Морозова,64