

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ УЗБЕКСКОЙ ССР

Приказавственное объединение "Узбекгидрогеология"

Институт гидрогеологии и инженерной геологии

(ГИДРОИНЖЕО) им. О.К.Ланге

На правах рукописи

ЗОЛОТАРЕВ ВЛАДИМИР ПАВЛОВИЧ

УДК 556.3:681.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ВОДНОГО И СОЛЕВОГО ОБМЕНА
В КОТЛОВИНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ И
ПРОГНОЗЫ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

04.00.06 - Гидрогеология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Ташкент - 1990

Работа выполнена в Институте гидрогеологии и гидрофизики Академии Наук Казахской ССР им. У.М.Ахмедсафина.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Шапиро С.М.

Научный консультант: кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Винникова Т.Н.

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор Зекцер И.С., кандидат технических наук, старший научный сотрудник Халибуллаев И.Х.

Ведущая организация: Центральная гидрогеологическая экспедиция Казахского главного геологического управления "Казгеология".

Защита состоится "27" сентября 1990 г. в 10 час. на заседании Специализированного Совета Д 071.01.01 по защите диссертаций на соискание ученой степени докторов наук по специальности 04.00.06 (гидрогеология) при Институте гидрогеологии и инженерной геологии (ГИДРОИНГЕО) им. О.К.Ланге ПО "Узбекгидрогеология" Министерства геологии УзССР по адресу: 700041, г.Ташкент, ГСП, ул. Маршова, 64.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института ГИДРОИНГЕО.

Автореферат разослан "20" марта 1990 г.

Ученый секретарь
Специализированного Совета



Якубова Р.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Интенсивный отбор воды Амударьи и Сырдарьи повлек за собой значительное снижение уровня Аральского моря. К настоящему времени площадь моря уменьшилась на 42%, его объем сократился на 60%, а соленость воды достигла 31 г/л. Такое снижение является отличительной чертой современного режима моря, не имеющего аналогов при естественных колебаниях уровня.

Обсыхающее дно Аральского моря становится очагом развития пыльных и солевых бурь, охватывающих значительное пространство. Одним из источников появления солей в обсыхаем дне моря является подземные воды, разгружающиеся в котловине. Количественная и прогнозная оценка условий и источников формирования солевой массы в котловине моря является одной из важнейших задач общей Аральской проблемы, решение которой позволит разработать комплекс защитных рекомендаций по улучшению экологического состояния региона.

Цель диссертационной работы

Диссертационная работа посвящена исследованию на основе математического моделирования процессов подземного водного и солевого обмена мелового напорного комплекса с донными отложениями в котловине Аральского моря. Основные задачи диссертации сводятся к следующему:

Разработка методики моделирования подземного водного и солевого обмена в котловинах крупных водоемов аридной зоны в условиях понижения их уровня.

Оценка величины засоления зоны аэрации в обсыхающей части котловины Аральского моря на современном этапе и прогнозы этого засоления на 2000 год.

Методика исследований

Исходя из поставленных задач общая методика работы базируется на применении численных методов решения систем дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка параболического и эллиптического типа, на теоретических и полных исследованиях, на балансовых методах расчета с учетом геолого-гидрогеологических особенностей котловины.

Научная новизна работы

1. Разработана и теоретически обоснована методика моделирования подземного водного и солевого обмена в котловине Аральского моря, которая может быть применена для других крупных водоемов аридной зоны.

2. С помощью граничных условий на модели представилось возможным выделить котловину Аральского моря как обособленную гидродинамическую систему.

3. Построена математическая модель котловины Аральского моря для трехслойного гидрогеологического разреза и зоны аэрации осушенного дна с учетом влияния литолого-фациальных особенностей, подземного стока, испаряемости с уровня грунтовых вод, их минерализации и солевого состава, а также изменений площади акватории моря и обработки напором подземных вод.

Практическое значение работы

Оценены источники притока и вынос солевой массы на обсохшем дне котловины Аральского моря за счет подземных вод, что имеет важное значение для прогнозирования развития негативных последствий в Приаралье и дает возможность разработать комплекс мероприятий по снижению этих последствий. Помимо этого, разработанная методика моделирования позволила уточнить геологическое строение котловины и ее гидрогеологические условия.

Реализация результатов работы

Разработанная методика решения обратных задач внедрена в практику работ Института гидрогеологии и гидрофизики АН КазССР. Отдельные положения диссертации, по мере их готовности передавались в САХСМРИ и ЦТЭ "Казгеология".

Апробация работы

Основные положения диссертации докладывались на научном семинаре кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии МГУ им. М. В. Ломоносова "Региональные гидрогеологические, инженерно-геологические и геоэкологические исследования в целях охраны геологической среды" (Москва, 1989 г.), на техническом совете ПО

"Узбекгидрогеология" (Ташкент, 1989 г.), на расширенном заседании лаборатории гидрогеологического моделирования (Алм-Ата, 1990 г.) и на заседании секции мониторинга подземных вод и мелкоразливной гидрогеологии института ГИДРОИНГЕО ЮО "Узбекгидрогеология" (Ташкент, 1990 г.).

Дубликации

По теме диссертации опубликовано 5 научных статей, 1 монография (в соавторстве) и 1 статья передана в печать.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения общим объемом 139 страниц машиннописного текста, включая 36 рисунков и список литературы из 144 наименований.

Автор выражает благодарность научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук С.М.Шапиро, научному консультанту, старшему научному сотруднику, кандидату геолого-минералогических наук Т.Н.Винниковой, а также всем сотрудникам, принявшим участие в работе - советом, помощью или критическими замечаниями: ведущему научному сотруднику, кандидату геолого-минералогических наук О.В. Подольному, ведущему научному сотруднику, доктору геолого-минералогических наук В.И.Порядину.

ГЛАВА I, КОТЛОВИНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ И ЕЕ СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Котловина Аральского моря приурочена к центральной части Туранской плиты в пределах Узбекской и Казахской ССР. Само море питается крупнейшими реками Средней Азии - Амударьей и Сырдарьей. До 1961 года уровень моря находился на отметке около 53 м., площадь его акватории составляла 66 тыс. км², а объем воды 1062 км³. Здесь находилось более 300 островов, наибольшими из которых были Кокарал, Возрождения и Барсакольмес. Зона мелководий относилась к восточному и южному побережьям моря, охватывая пространство от устья Сырдарьи на севере до острова Толмачева на юге. До 1961 г. здесь преобладали глубины в 5-6 м., достигал в отдельных местах 10 м.

Климат района резкоконтинентальный, выразился в большой внутрисезонной изменчивости климатических условий. Среднегодовое

количество осадков составляет около 130 мм. Максимальное их количество выпадает весной.

Неоднородность литологического строения обнажившихся донных осадков создает значительную изменчивость в формировании почвенного покрова обсыхающей территории. В начальный период обнажения донных осадков вне зависимости от их литологического состава, в пределах прилегающих к морю участков формируются маршевые и приморские солончаки. В это время здесь отмечается интенсивное и устойчивое засоление поверхностного слоя. В дальнейшем на отложениях легкого гранулометрического состава приморские солончаки постепенно замещаются в приморские песчаные почвы с навеванным песчаным чехлом и очагами дефляции. В многолетнем плане происходит постепенное рассоление песчаных почв. Интенсивность этого процесса зависит от проточности грунтовых вод и подпитывания со стороны артезианского напорного комплекса, а также от процессов дефляции и эоловой аккумуляции. На грунтах тяжелого гранулометрического состава приморские солончаки постепенно преобразуются в пухлые, корково-пухлые и отакиривающиеся солончаки. После продвижения капиллярной каймы вглубь грунтов начинается процесс их отакиривания. Незначительное промывание поверхностного слоя атмосферными осадками не способствует его интенсивному рассолению.

Широкое распространение процесса оленакпления связано с аридными климатическими условиями района, близким от поверхности залеганием грунтовых вод в прибрежной полосе и капиллярностью почвы. Эти факторы приводят к образованию приморских солончаков. Содержание солей во вновь формирующихся почвогрунтах меняется в направлении от уреза воды в глубь суши. Непосредственно у моря процесс оленакпления выражен слабо. Далее идет зона активного современного оленакпления, достигающая ширины нескольких километров. Вслед за этой зоной в сторону бортов котловины уровни грунтовых вод понижаются и здесь намечается зона слабого современного засоления. В области современного оленакпления гидротермические условия способствуют высокой динамичности солевых процессов. Здесь возможен мгновенный вынос солевых скоплений с поверхности грунтов ветром. По наблюдениям из космоса пылесольные выбросы из очагов возникновения достигают 400-500 км. По опытным замерам проведенным Институтом почвоведения АН КазССР в 1960 г. максимальная скорость эолового выноса рыхлого грунта с осушенной территории составляет 3,7 см/год. По геоморфологичес-

ким наблюдениям Н.М.Богдановой эта скорость еще выше и составляет 5-8 см/год.

Дефляционно-аккумулятивные процессы наиболее широко развиты на промытых и хорошо отсортированных песчаных пространствах приуроченных к отмелям-барам. Под влиянием ветра здесь возникают барханные цепи, вытянутые несколькими параллельными рядами. Основными районами распространения барханных форм являются юго-восточное и восточное побережья моря. Высота барханов по аэровизуальным наблюдениям составляет 5-7 м.

Пустынная растительность способствует мобилизации и выносу солей на поверхность из глубоких почвенных слоев и, следовательно, является посредником солевого выноса.

В зимнее время, при испарении льда, включений в него сульфит натрия остается на его поверхности в виде пушонки тенандрита, которая также выносится ветром.

В геологическом строении котловины Аральского моря участвуют кайнозойские, мезозойские и палеозойские отложения. Мезозойская группа представлена отложениями неокма, алта, сенмана, турона, сенона общей мощностью до 2 км. В разрезе отложений преобладают глины, алевролиты, песчаники и пески. Кайнозойская группа представлена отложениями палеогена, неогена и четвертичными осадками. Палеогеновые отложения имеют почти повсеместное распространение и представлены в основном глинами и алевролитами достигая мощности до 500 м. в центре котловины. На выходах мела в районе вала Архангельского палеогеновые отложения размыты. Неогеновые отложения, содержащие глины, пески и песчаники флюидна ограничено распространены в Приаралье и достигают мощности 80-100 м. Четвертичная система представлена в восточном и южном Приаралье альтернативными отложениями. Литологически они характеризуются переслаивавшимися песками, супесями, суглинками приуроченными к древним протокам рек. Мощность аллювия не превышает 25 м. Современные четвертичные отложения распространены в самой котловине повсеместно и по мощности не превышают 10 м.

В гидрогеологическом разрезе выделяются два водоносных этажа. Нижний гидрогеологический этаж содержит водоносные горизонты и комплексы меловых отложений. Подземные воды обладают значительным напором и превышают поверхность земли в береговой части на 10-20 м. Мощность, степень обводненности меловых пород в пределах самой котловины неодинаковы. Более минерализованные подземные воды

приурочены к водоносным горизонтам верхнего мела. Плотный остаток солей изменяется от 1-3 г/л (восточное и северо-восточное Приаралье) до 50 г/л на острове Возрождения и до 60 г/л в западной части котловины. Нижнемеловые отложения содержат высокоминерализованные воды более 100 г/л в западном Приаралье на плато Устурт.

Начиная с 1965 г., в результате сокращения притока речных вод, уровень Аральского моря стал падать, достигнув к 1989 г. отметки 39 м. Площадь обсыхающей полосы оставила к этому времени более 28 тыс. км². В покровных осадках обсыхающего дна образовался горизонт грунтовых вод, глубина залегания которого изменяется от 0 до 4 м. Минерализация воды изменяется здесь от 10 до 100 г/л и более. Существует прямая зависимость степени и характера засоления осушенной полосы котловины от литологии донных осадков, от режима и минерализации грунтовых вод, продолжительности осушения, геоморфологии дна и ряда других условий, влияющих на аккумуляцию и перераспределение солей в зоне аэрации грунтового горизонта. Процесс соленакпления происходит главным образом за счет капиллярного подтягивания высокоминерализованных грунтовых вод.

ГЛАВА II. ПОДЗЕМНЫЙ ВОДООБМЕН В КОТЛОВИНАХ КРУПНЫХ ВОДОЕМОВ АРИДНОЙ ЗОНЫ

Дан анализ существующих разработок, относящихся к изучению таких сложных гидрогеологических систем как крупные внутренние водоемы аридной зоны. Рассмотрены методы математического и аналогового моделирования и возможности их применения при изучении подземного водообмена морей с нижележащими водоносными комплексами.

Изучению вопросов, связанных с исследованиями подземного стока в крупные водоемы посвящены работы В.Н.Бортника, В.М.Гольдберга, Р.Г.Джамалова, И.С.Зекцера, В.П.Львова, Д.У.Миралиева, И.С.Пашковского, О.В.Подольного, В.И.Порядина, Ж.С.Сидикова, Н.Н.Ходжибаева, И.М.Черненко, С.М.Шапиро.

Многие исследователи (В.Н.Бортник, В.П.Львов и др.) определяют подземный сток в моря, как остаточный член уравнения среднегодичного водного баланса. Расчитанное таким образом значение подземного стока целиком зависило от точности замеров речного стока, осадков, испарения и естественно включало в себя все погрешности их измерения. Нередко сумма этих погрешностей превышала саму величину подземного стока непосредственно в море. С другой стороны, вычисление подземного стока гидродинамическими методами давало

возможность более точно судить о расчетах других элементов водного баланса.

Величина и направленность подземного стока зависят от фильтрационных свойств водоносных пород основных водоносных комплексов. Как правило водопроницаемости водоносных систем под акваторией моря не известны и их величина оценивается по известным мощностям и установленным в пределах побережий коэффициентам фильтрации. Такой подход не учитывает генезиса котловины и ухудшения фильтрационных свойств водоносных пород зоны затрудненного водообмена, что в свою очередь ведет к ухудшению результатов исследования при построении потенциальной поверхности пьезоуровней в пределах всей котловины моря.

Используя метод распределенного водного баланса (Г.А.Шнейдерман) на основе выделения эталонных ячеек оетки фильтрации можно повысить точность производимых расчетов и качество прогнозных задач.

Оценка подземного водного и солевого притока в Аральское море по меловому напорному комплексу ведется с 1962 г. многими гидрогеологами. В работах В.П.Львова, И.С.Пашковского, Ж.С.Сыдыкова, Н.И.Ходжабаева, И.М.Черненко подземный сток в море варьировал в широких пределах от 0.2 до 5.5 км³/год, а солевой приток составлял 24 млн. т/год (И.М.Черненко). Такой разброс значений получался из-за неоднзначно принятых фильтрационных параметров и неучета взаимодействия водоносных горизонтов между собой. Оценивая приток напорных вод перетеканием в пределах осушаемой полосы котловины Аральского моря не определялись расходы грунтовых вод на поверхности на этой территории, что в свою очередь оставляло открытым вопрос с расходной составляющей водного и солевого баланса.

Нами предложена методика моделирования подземного водного и солевого обмена в крупных водоемах аридной зоны. Она состоит из пяти последовательно выполняемых этапов моделирования ориентированных в конечном итоге на прогнозные расчеты водных и солевых составляющих баланса подземных вод. Первые три этапа включают постановку и решение обратной стационарной задачи, что является новым в изучении процессов водного и солевого обмена в котловинах морей. На основе построения пьезометрической поверхности напорного комплекса экстраполяционным способом (И.С.Зекцер) и метода распределенного водного баланса удается установить геологическое содержание

ние модели с учетом генезиса котловины. На четвертом этапе моделирования решается эпигнозная задача. Здесь, на основе фактических данных полевых исследований строятся графики временного прослеживания за глубинами залегания грунтовых вод, по которым можно построить схемы этих глубин залегания для всей обсыхающей территории на любой момент времени. Эти схемы являются эталонными при определении на модели расходов грунтовых вод на испарение. На пятом этапе даются прогнозы изменения водного и солевого обмена в котловине при различных положениях уровня моря.

ГЛАВА III. ПОДЗЕМНЫЙ ВОДНЫЙ И СОЛЕВОЙ ОБМЕН С АРАЛЬСКИМ МОРЕМ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Изложенные во второй главе научно-методические подходы использовались для исследования подземного водного и солевого обмена в котловине Аральского моря.

Наряду с хорошей гидрогеологической изученностью прилегающей к котловине территории, по ней самой были известны только мощности гидрогеологических комплексов, построенные по геофизическим данным. Естественно, что для создания математической модели фактических материалов было явно недостаточно. В этих условиях необходимо было разработать теоретические предпосылки, позволяющие в какой-то мере ликвидировать недостающие данные и научно обоснованно решить поставленную задачу.

Последовательность выполнения исследований представлена в следующем виде:

1. Построение пьезометрической поверхности мелового напорного комплекса при стационарных условиях.

2. По полученной пьезометрической поверхности и известным фильтрационным параметрам эталонных ячеек находящихся в прибрежной зоне, строится и уточняется схема фильтрационных параметров мелового напорного комплекса и параметров перетекания вышележащего палеогенового горизонта.

3. На основе проделанных исследований создается математическая модель подземного водообмена для ненарушенных условий.

4. Этап эпигнозного моделирования.

5. Контроль питания котловины по меловому напорному комплексу.

Построение пьезометрической поверхности мелового напорного комплекса и выделение области акватории, где происходит площадное

перетекание подземных вод проводилась по методике И.С.Зекцера. Суть ее заключается в экстраполяции линий тока, построенных на прилегающей к котловине территории, в пределы акватории. Этот способ позволил построить достаточно обоснованную схему пьезометрической поверхности с выделением области субмаринной разгрузки напорных вод перетеканием. Было установлено, что фактические линии тока описываются в аналитической форме логарифмической зависимости, коэффициенты которой можно найти методом наименьших квадратов. Нами было проэкстраполировано в пределы акватории Аральского моря более 100 фактических линий тока, что дало возможность выделить область внедрения и разгрузки напорных вод.

Принимая во внимание, что построенная схема пьезометрико должна нести в себе наиболее полную информацию о геологических и гидрогеологических особенностях строения водонапорной системы, появилась возможность воссоздать на модели литолого-фациальные схемы как напорного так и слабопроницаемого комплексов. Для этого в прибрежной зоне были выделены эталонные ячейки гидродинамической сетки с известными значениями водопроводимостей мелового напорного комплекса и параметров перетекания слабопроницаемого палеогенового горизонта. Взаимокорректировка и расчет фильтрационных параметров проводилась с использованием следующих зависимостей:

$$\begin{cases} Q_n = T \cdot D + \eta \cdot W \cdot F \\ Q_p = Q_n - W \cdot F \end{cases} \quad (I)$$

где Q_n - расходы на контуре питания ячейки, Q_p - расходы на контуре разгрузки ячейки, $T = K \cdot m$ - усредненное значение водопроводимости, F - площадь ячейки, S - интенсивность перетекания из ячейки, $\eta = 1/2 \ln c - 1/(c^2 - 1)$, $c = V_{i+1}/V_i$ - параметр, учитывающий геометрическую форму ячейки, V_i, V_{i+1} - длины изогипа в пределах ячейки по контуру питания и разгрузки, $D = \Delta H \cdot \Delta \ell / \Delta S$, ΔH - разность напоров в пределах ячейки, $\Delta \ell$ - средняя ширина ячейки, ΔS - средняя длина ячейки.

При соблюдении условия неизменности сетки фильтрации для заданных Q_n можно найти множество соответствующих между собой значений T и W . Однако учитывая, что $Q_{pi} = Q_{pi+1}$ и величины $W \cdot F$ заданы в первом приближении, получаем возможность однозначного расчета водопроводимостей напорного комплекса по лентам тока.

На основании вышеуказанной методики были рассчитаны значения водопроводимостей мелового напорного комплекса под акваторией Аральского моря. Достоверность расчетов контролировалась сравнением значений параметров соответствующих ячеек соседних лент тока. При анализе распределения водопроводимостей отмечается уменьшение коэффициентов фильтрации водовмещающих пород в направлении центра котловины, что говорит о наличии здесь зоны затрудненного водообмена и совпадает с теоритическими предположениями развития отложений морского генезиса.

На основании полученных значений водопроводимостей и построенной псевдометрической поверхности напорного комплекса была создана математическая модель, целью которой было уточнение фильтрационных параметров слабопроницаемого палеогенового горизонта, определение величин питания котловины напорными водами и изучение распределения перетекающих напорных вод по площади внутри котловины.

Схематизация гидрогеологических параметров сведена к выделению на картах водопроводимостей и водостдач водоносных комплексов зон со средними (в пределах блока) их значениями, каждое из которых равно суммарной проводимости всех слоев. Схематизация выполнена путем выделения безнапорной и напорной зон. Схематизация реальных геометрических границ котловины моря сведена к замене их непрерывного очертания ступенчатым с рациональным размером шага сетки. После упрощения строения вертикальной толщи котловины Аральского моря были выделены два водоносных горизонта, разделенные слабопроницаемым слоем с $K_f = 5 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Многослойная структура каждого комплекса заменена на однослойную.

В условиях стационарной фильтрации полученная расчетная схема описывается системой уравнений плановой фильтрации с наличием перетекания, которая решена с использованием программного комплекса "ТОПАЗ-9". По контуру котловины сначала задавались граничные условия I рода. В результате решения стационарной задачи установлено балансовое распределение потоков подаваемых вод и определена величина питания котловины по меловому напорному комплексу. Критерием правильности решения служило условие совпадения решений модельных уравнений с псевдометрической поверхностью, построенной экстраполяционным способом. Корректировка модели проводилась путем незначительного изменения параметров перетекания слабопроницаемого палеогенового горизонта. Величина питания котловины по

меловому напорному комплексу составила $5.9 \text{ м}^3/\text{сек}$. Основная разгрузка подземных вод осуществляется перетеканием через слабопроницаемый палеогеновый горизонт и распределяется по бортам котловины с модулями перетока $0.5-0.7 \text{ л/сек.км}^2$ на севере, востоке и юге и $0.1-0.2 \text{ л/сек.км}^2$ на западе. Ближе к центру котловины перетоки снижаются до величин менее 0.05 л/сек.км^2 . Таким образом, в ходе решения обратной стационарной задачи была найдена совокупность особенностей, отражающая литолого-фациальные условия и гидрогеологическую структуру котловины Аральского моря.

Оценка конного подземного стока выполнялась по средним значениям минерализации вод мелового напорного комплекса в условиях конвективного переноса. Его величина составила $7.56 \cdot 10^6 \text{ т/год}$.

На этапе эпитозного моделирования, охватывающего период с 1961 по 1969 г. модель представляла собой трехпластовую систему, верхний пласт которой имитировал современные донные отложения Аральского моря. Данные по литологии донных осадков и их распространению в пределах котловины были взяты по данным исследований И.В.Рубанова. В схематизированном виде голоценовый горизонт представлял собой пласт с усредненными значениями проницаемости снятыми с литолого-фациальных карт-срезом на глубинах 1, 2, 3 и 4 м. от дна моря. Здесь выделены 4 зоны, каждой из которых приписаны своя водоотдача, коэффициенты фильтрации и мощность.

В математическом виде подземный водообмен в котловине описывался системой дифференциальных уравнений параболического типа с условиями перетекания и испарения. Целью эпитозного моделирования явилось определение расходов грунтовых вод на испарение с учетом пространственно-временного изменения и литологического строения обсыхающей части котловины. При этом учитывалась также составляющая подземного перетока напорных вод в голоценовый горизонт. Чтобы увеличить рентабельность модели и уменьшить время счета ЭВМ, мы ограничились для задания испарений, переменными во времени граничными условиями 2 рода. Для этого, на основании наших исследований и исследований Института почвоведения АН КазССР на обсыхающем дне Аральского моря были построены графики временного прослеживания за уровнем грунтовых вод с учетом литологии вышедших из-под воды грунтов. На основании этих графиков были построены схемы глубин залегания грунтовых вод обсыхающей территории на различные моменты времени. При решении эпитозной задачи на каждом временном шаге

определялись величины расходов грунтовых вод на испарение. Критерием достоверности служило условие совпадения глубин залегания грунтовых вод полученных на модели с глубинами залегания определенными по графическим зависимостям. Величина расходов грунтовых вод на испарение на конец временного шага для каждого расчетного блока модели складывалась из величины сработки емкостных запасов грунтового горизонта и величины перетока из мелового напорного комплекса

$$Q_{\text{исп}} = \frac{M \cdot S \cdot F}{\Delta t} + Q_{\text{пер}}, \quad (2)$$

где S - понижение на данном временном шаге Δt , F - площадь блока, M - водоотдача.

Для совпадения понижений грунтовых вод оказалось достаточным проведения 2-3 итераций относительно $Q_{\text{пер}}$.

При смене временного шага менялись значения водопроводимости голоценового горизонта в пределах зоны осушения с учетом уменьшения мощности водовывещающих пород.

Величины расходов грунтовых вод на испарение с обухающей части дна Аральского моря оставили: в 1970 году - 5 м³/сек, в 1980 году - 8.4 м³/сек и в 1989 году - 19.5 м³/сек при величинах перетока в обухающую часть дна из нижележащего напорного комплекса 1.7 м³/сек, 2.3 м³/сек и 3.55 м³/сек соответственно.

Оценка ионного подземного стока также как и при решении стационарной задачи осуществлялась по средним значениям минерализации вод мелового напорного комплекса. Большой интерес представляло изучение накопления сухого остатка солей в зоне аэрации обнажающегося техногенного горизонта грунтовых вод. Эти величины составили к 1970 году - 31.1 млн. тонн, к 1980 году - 90.2 млн. тонн, а к 1989 году уже 246.3 млн. тонн. Большая часть запасов этих солей подвержена дефляционным процессам, особенно в пределах глинистых и суглинистых областей осушаемой полусы. Сама зона интенсивного соленаккумуляции перемещается вслед за отступающим морем. Период работы этой зоны составляет в среднем 15-20 лет. В дальнейшем, после достижения критических глубин залегания грунтовые воды стабилизируются в равновесном состоянии. Здесь происходит уравнивание процессов внутригрунтового испарения и подпитывания перетокскими напорными водами. Засоление нижней водонасыщенной части разреза этого горизонта происходит за счет солей поступающих из мелового

напорного комплекса.

Минерализация грунтовых вод оценивалась из балансных соотношений по формуле:

$$M = (Q_{\text{сол}} - q) \frac{\Delta t}{\mu \cdot S \cdot F} \quad (3)$$

где $Q_{\text{сол}}$ - количество солей отлагающихся в зоне аэрации, q - соли поступающие с напорными водами, Δt - временной шаг на модели, μ - водоотдача пород грунтового горизонта, F - площадь блока модели, S - величина понижения уровня грунтовых вод на данном временном шаге.

При решении эпитической задачи после определения величины питания котловины в стационарных условиях, граничные условия I рода (постоянный напор) были заменены на граничные условия 2 рода (постоянное питание). В то же время, поскольку был известен режим изменения изеозурвней в южном и юго-восточном Приаралье, нам удалось проконтролировать изменение питания котловины по меловому напорному комплексу в течение всего эпитического периода. Поначалу здесь задавались граничные условия I рода и держались в граничных блоках модели до тех пор, пока не происходила стабилизация питания. После этого граничное условие заменялось на 2 род и в этом блоке задавался уменьшенный постоянный приток. Питание котловины по меловому напорному комплексу в 1989 году составило $5,24 \text{ м}^3/\text{сек}$, т.е. уменьшилось относительно 1961 года на $0,66 \text{ м}^3/\text{сек}$. К 1989 году питание котловины стабилизировалось и по всему ее контуру были заданы граничные условия 2 рода.

ГЛАВА IV. ПРОГНОЗЫ ИЗМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ВОДНОГО И СОЛЕВОГО ОБМЕНА В СВЯЗИ С УСИХАНИЕМ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

На модели были проработаны два варианта прогнозов на период до 2000 года.

В первом варианте, учитывая динамику изменения уровня моря за последние годы по данным метеостанции "Аральское море", был предложен прогноз состояния обсыхающих донных осадков при отметке уровня моря 33 м. При этой отметке Малое море распадется на два небольших водоема, а Большое море будет представлять собой подковообразное озеро заполняющее наиболее глубокую западную часть и часть котловины прилегающей к разроющемуся острову Возрождения с востока. Между собой эти водоемы будут соединяться небольшим проливом, расположенным между полуостровом Куланди и островом Возрождения. Су-

специальной особенностью этого периода прогнозов является то, что из под воды в основном начнут высвобождаться алевроитовые и глинистые литологические разности донных отложений, способные по своим капиллярным свойствам доставлять влагу, а вместе с ней и соль, с глубин порядка 3-4 м. Хотя величины испарений здесь будут меньше из-за незначительной водоотдачи отложений, но учитывая транспортные способности системы засоления будет распределяться в приповерхностной зоне. В отличие от глинистых разностей, в песчаных зонах засоление по профилю зоны аэрации подчиняется другим закономерностям. Здесь помимо капиллярных способностей песков большое влияние на распределение солей оказывают сезонные увлажнения атмосферными осадками. Как и при решении эпигнозной задачи, критерием правильности решения служило условие совпадения глубин залегания грунтовых вод построенных по графическим зависимостям, с глубинами их залегания подобранными через испарение. По результатам моделирования величина расходов грунтовых вод на испарение со всей обобщенной территории котловины Аральского моря к 2000 г. составит 14.9 м³/сек, а величина накопления сухого остатка солей 464.66 млн. тонн. Величина притока напорных вод в обобщенную часть котловины к этому времени будет 3.91 м³/сек.

Во втором варианте прогнозов рассматривается вопрос об изменении соленакопления в зоне аэрации техногенного грунтового горизонта в случае стабилизации уровня моря на отметке 38.5 м. в 1990 г. при существующем питании котловины 5.24 м³/сек. Тогда к 2000 г. за счет естественного снижения уровня грунтовых вод, величина их расходов на испарение со стабилизированной обобщенной зоны составит 9.5 м³/сек при перетоке напорных вод - 3.45 м³/сек. Произойдет значительное сокращение соленакопления в зоне аэрации грунтового горизонта по сравнению с теми условиями, когда море снизило бы свой уровень до отметки 33 м. Величина солепереноса в зоне аэрации уменьшилась бы на 20 тно.т/сут, а ее засоления на 90 млн. тонн.

ВЫВОДЫ

Выполненные на основе математического моделирования исследования позволяют сделать следующие выводы:

I. Разработаны приемы и методы построения математических моделей подземного водного и солевого обмена в котловинах крупных водоемов аридной зоны. На основании этой методики изучена водообменная система котловины Аральского моря. Модель представляет со-

бой сложную трехпластовую систему состоящую из напорного водоносного комплекса меловых отложений, перекрывающего его алабэпринципаемого палеогенового горизонта и техногенного грунтового горизонта образованного в донных осадках отступающего моря.

2. За исходное гидродинамическое состояние системы и ее подземного водообмена принято состояние до 1961 года, когда море занимало естественное положение (абс.отм. 53 м) и подземный сток составлял $5,9 \text{ м}^3/\text{сек}$. При составлении модели, котловина Аральского моря была отделена граничными условиями 2 рода в обособленную гидродинамическую систему. Такой подход, исходя из возможностей программного комплекса "ТОПАЗ-9", позволил провести более детальную разбивку области фильтрации на блоки.

3. В процессе решения эпигнозной задачи проводилось сопоставление натуральных наблюдений по отдельным профилям с соответствующими модельными значениями уровней и минерализации грунтовых вод. Сходимость результатов достаточно высокая. Модель позволила выявить то, что наибольший водообмен происходит в периферийной части котловины сложенной преимущественно песчаным материалом и образующим по существу шельфовую зону моря. В центральной части котловины подземный водообмен напорного комплекса с морем отсутствует. В зависимости от положения уровня и конфигурации моря, а также расширения осушенной полосы, происходит не только изменение величины разгрузки напорных вод, но и увеличение глубины залегания техногенного грунтового горизонта. Получены количественные характеристики солепереноса в зоне аэрации в зависимости от испарения и длительности его воздействия. Такая взаимосвязь является характерной для водоемов расположенных в аридной зоне. Прослежено о помощи изменения граничных условий первого рода на второй уменьшение питания котловины Аральского моря по меловому напорному комплексу.

4. Отмечено по решению прогнозных задач, что рост солепереноса во времени замедляется. Само же соленакопление в зоне аэрации растет из-за увеличения площадей обсахавших территорий и роста минерализации напорных вод в направлении к отступающей акватории моря.

Несмотря на то, что нами были выявлены основные закономерности процессов водного и солевого обмена в котловине Аральского моря и оценена их количественная величина, ряд вопросов остается слабоизученным, в частности, не поддается моделированию в настоящей постановке задачи, взаимодействие отступающего моря с верх-

ним слоем донных осадков. Известно, что здесь пролазятся макромальевые испарения, сравнимые с испарениями с водной поверхности и к тому же продолжающиеся короткий промежуток времени. Помимо этого сам процесс испарения постоянно осложняется огненно-нагонными явлениями, которые сложно оценить из-за их неперIODичности.

В дальнейшем, на основании системных подходов разработанных У.У.Умаровым, наши исследования будут направлены на:

1. Изучение гидрогеологических процессов на более крупномасштабных участках; с постановкой задач по взаимодействию отступающей морской воды с грунтовыми водами осушенной береговой полосы.

2. Изучение процессов солеаккумуляции и солепереноса в самостоятельно высыхающих остаточных водоемах современной береговой полосы.

3. Изучение процессов взаимодействия морской воды с верхним слоем донных отложений под акваторией моря.

4. Изучение вопросов взаимодействия инфильтрационных и седиментационных подземных вод.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Подземный водный и солевой сток в бассейне Аральского моря. Алма-Ата, Наука, 1983. - 160 с. (в соавторстве с У.М.Ахмедсафиним, Ж.С.Сидыковым, С.М.Шапиро и др.).

2. Проблемы Аральского моря: Состояние акватории и осушенного дна Аральского моря. Алма-Ата, Наука, 1983, с.5-42 (в соавторстве с Ж.С.Сидыковым, С.М.Шапиро, В.И.Порядиным, Т.Н.Винниковой).


3. Моделирование режима пьезоуровней подземных вод в связи с усыханием Аральского моря и самозаливом из окважин. (ВИНИТИ 6, У. 82 №2275-82) (в соавторстве с Ж.С.Сидыковым, С.М.Шапиро, Т.Н.Винниковой, В.И.Порядиным).

4. Роль гидродинамических исследований в выявлении закономерностей формирования подземных вод верхнетурон-оэонского водоносного комплекса Сырдарьинского артезианского бассейна.- Вестник АН КазССР, 1988. (в соавторстве с Н.В.Калликовой, Т.Н.Винниковой); № 1, с.59-66.

5. Математическая модель Сырдарьинского артезианского бассейна как основа для изучения Аральской экологической системы. Проблемы вычислительной математики и автоматизации научных исследований. Алма-Ата, Наука, 1988, т.3, с.92 (в соавторстве с С.М.Шапиро, Т.Н.Винниковой, Н.В.Калликовой, А.В.Бочкаревым).

6. Прогнозирование техногенных гидрогеологических процессов. Алма-Ата, Наука, 1988, 144 с. (в соавторстве с С.М.Шапиро, Т.Н.Винниковой, О.В.Подольным и др.).

7. Определение субаквальной разгрузки подземных вод котловины Аральского моря на основе моделирования. Москва, Вестн. МГУ, 1990.



Подписано в печать 20.06.1990 УГ 11070

Формат 60x84 1/16. Объем 1,2 л.е. Лист. Заказ 114, тираж 100

Отпечатано на ротопринтере ИГиН АН КазССР