

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ  
СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИРРИГАЦИИ им. В. Д. ЖУРИНА

На правах рукописи

Мягков Сергей Владимирович

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНО-СОЛЕВОГО  
РЕЖИМА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ХОРЕЗМСКОЙ ОБЛАСТИ  
И НИЗОВЬЕВ Р. АМУДАРЫ

Специальность 06.01.02 – мелиорация и орошаемое  
земледелие

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

а-13492

Ташкент - 1991

работа выполнена в научно-производственном  
объединении САНИИРИ им. В. Д. Журина ( НПО САНИИРИ )  
Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Денисов Ю. М.

Официальные оппоненты : доктор технических наук,  
профессор Зияходжаев М.  
кандидат технических наук  
Закс И. А.

Ведущая организация : Узбекский государственный  
институт проектирования водного хозяйства  
( УЗГИПРОВОДХОЗ )

Защита диссертации состоится "13" *февр* 1992 г.  
в 14<sup>00</sup> часов на заседании Специализированного Совета  
Д.099.02.01. при НПО САНИИРИ

Адрес: 700187, г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11, САНИИРИ.  
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
института.

Автореферат разослан "13" *янв* 1992 г.  
Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с подписью,  
просьба направлять в адрес Специализированного Совета

Ученый секретарь

Специализированного Совета

доктор технических наук

*Махмудов Э. Ж.*  
Махмудов Э. Ж.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На современном уровне в бассейне р.Амударьи формируется 0.46 км<sup>3</sup> промышленных сточных вод, 0.37 км<sup>3</sup> коммунально бытовых, около 20 км<sup>3</sup> коллекторно-дренажных, 0.23 км<sup>3</sup> сточных вод сельскохозяйственного производства, 2.3 км<sup>3</sup> теплоэнергетики. Непосредственно в Амударью и ее притоки отводится 8.5 км<sup>3</sup> коллекторно-дренажных вод. Всего в р.Амударью и ее притоки поступает более 9 км<sup>3</sup> различных видов сточных вод из которых более 90% приходится на долю коллекторно-дренажного стока с мелиорируемых земель. В настоящее время в Приаралье сложилась сложная экологическая обстановка, обуславливаемая дефицитом водных ресурсов, не только по количеству, но и по качеству.

Следовательно разработка природоохранных мероприятий по снижению отрицательных антропогенных воздействий, должна проводиться в соответствии с общепринятой в мировой практике стратегии исследований, на основе применения математических моделей, т.к. их использование в оценке влияния мероприятий происходит значительно быстрее и дешевле, чем на настоящей природной системе и главное без риска, что неожиданные эффекты будут иметь отрицательные и возможно необратимые последствия.

Цель и задачи исследований. Цель работы – исследование водно-солевого режима низовьев бассейна реки Амударьи при помощи имитационной математической модели, адекватно отражающей природный объект со многими внутренними связями и различными видами движения влаги. При ее численной реализации определить факторы влияющие на водно-солевой режим орошаемых территорий и реки Амударьи.

В соответствии с намеченной целью были решены следующие вопросы :

1. Создана математическая модель массо переноса в открытых потоках применительно к реке с деформируемым руслом, каковым является р. Амударья, позволяющая использовать исходные данные определяемые традиционными методами.
2. Приведены к единой расчетной схеме модели различных

по типу движения воды гидромелиоративных объектов, позволяющей рассчитывать сложные водохозяйственные системы со многими внутренними связями, как единое целое.

3. Проведено тестирование и адаптация моделей на натурных измерениях, показывающие соответствие моделей реальным объектам.

4. На основании проведенных расчетов выявлены факторы изменяющие естественный режим природных объектов.

Объект и методика исследований. В качестве объекта исследований выбрана Хорезмская область и река Амударья в нижнем течении. Хорезмская область представляет собой сложную, в гидромелиоративном плане водохозяйственную систему. Гидрогеологическое строение, при котором пласты обладающие большим коэффициентом фильтрации до 15 м/сут, чередуются с грунтами средней проницаемости до 1 м/сут, причем поверхностный слой почвы обладает, как правило меньшей (до 0.3 м/сут) проводимостью.

Режим реки Амударьи в нижнем течении отличается от среднего и верхнего течения многими особенностями, затрудняющими учет стока. Например: из-за большой деформируемости русла для определения стока воды требуется проводить в 3 раза больше измерений расходов воды, чем это производится в верхнем течении.

Взаимодействие реки и прилегающих территорий имеет сложный характер. Например: в меженный период поток грунтовых вод направлен в сторону реки, а в период половодья наоборот, воды реки фильтруются в почвогрунты, тем самым накладывая изменения на режим уровня грунтовых вод прибрежных территорий. Кроме того, режим грунтовых вод зависит от мелиоративных мероприятий: режима орошения, наполнения и сработки водохранилищ.

Из вышеизложенного следует, что для исследований необходимо создание математической модели орошаемого региона, учитывающей различный характер движения влаги: (фильтрационный и открытый потоки) с различными типами взаимодействия объектов (орошаемая территория - коллекторно-дренажная сеть, река - орошаемая территория, водохранилище - река и т.д.). В виде отдельных объектов принимаются следующие типы: 1) орошаемая территория, 2) коллекторно-дренажная сеть, 3) озера и водохранилища, 4) реки и каналы.

Научная новизна и предмет защиты. При исследованиях влияния водохозяйственных мероприятий на природные объекты, необходимо рассматривать весь сложный ирригационно-хозяйственный комплекс в целом, как единую систему, со множеством внутренних взаимодействий, влияние которых на массо-обмен определяется множеством взаимозависимых факторов, с распределенными в пространстве характеристиками.

1. Впервые при моделировании открытых потоков использованы статистические зависимости между измеренными расходами воды и площадью поперечного сечения потока, что позволяет моделировать поток в реке с деформируемым руслом.

2. Впервые модели открытых потоков и водоемов рассчитываются совместно с орошаемыми территориями, в едином временном масштабе расчетной схемы.

3. Исследованиями уточнена зависимость времени добега элементов паводка от расходов воды для реки Амударья.

4. Изучено взаимовлияние наполнения искусственного водоема на окружающие территории в части влагосолепереноса.

5. Разработан алгоритм и программа расчета, позволяющие рассчитывать массоперенос между объектами с различным видом движения влаги.

6. Выявлены закономерности изменения общей минерализации речной воды по длине р. Амударья от сброса коллекторно-дренажных вод.

7. Для оценки изменения природной среды совместно использованы модельные расчеты и результаты обработки космических снимков средствами ПЭВМ.

Практическая ценность и реализация работы. Полученные результаты служат для прогнозных оценок изменения природной среды под воздействием технических мероприятий, проводимых в бассейне реки Амударья. Позволяют оценить влияние проводимых технических мероприятий на отдельных объектах водохозяйственного комплекса на весь район в целом.

Пакет прикладных программ, разработанный по модели, вошел в каталог паспортов "Научно-технические достижения рекомендуемые для использования в мелиорации и водном хозяйстве" выпуск 13 1991 г. Государственного концерна "ВОДСТРОЙ".

Материалы работы использованы в научно-техническом отчете "Создание математической модели экологических изменений Аральского моря и Приаралья." 1990-1991 г., а также при исследованиях по теме "Охрана бассейнов малых рек" 1991г.

Отдельные результаты послужили основой "Рекомендаций по методике расчета объема коллекторно-дренажного стока на предстоящий год" (утверждены Минводхозом УзССР в 1990 г.)

Апробация работы. Материалы работы рассматривались на конференциях :

1. Научное обеспечение повышения эффективности мелиорируемых земель. Всесоюзное совещание. Москва. 1987 г.

2. Повышение эффективности мелиорируемых земель и водохозяйственное строительство. Всесоюзная научно-техническая конференция. Тбилиси. 1987 г.

3. Рациональное использование водных ресурсов. Международные курсы ЮНЕСКО. Москва. 1988 г.

Публикации. Основное содержание работы изложено в 7 опубликованных в печати работах.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов. Общий объем 153 стр. машинописного текста. Содержит список использованной литературы из 168 наименований, 1 таблица в тексте и 10 в приложении, 26 рисунков.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ .

В первой главе рассматриваются вопросы математического моделирования влагосолепереноса в гидромелиоративных объектах. К настоящему времени разработано множество математических моделей функционирования объектов водохозяйственного комплекса. Методы моделирования движения влаги и солей в зоне аэрации представлены рядом авторитетных авторов, среди них Аверьянов С.Ф., Будаговский А.И., Рекс Л.М., Губанков Л.Н., Денисов Ю.М. Однако численная реализация данных моделей вызывает трудности при подвижном уровне грунтовых вод, что накладывает свои ограничения при расчете объектов, где уровень грунтовых вод является одним из показателей водохозяйственной системы. Для моделирования фильтрационного потока в зоне полного насыщения часто используется схема "Дюпюи-Буссинеска".

Однако встречается трудности при аппроксимации участков с криволинейными границами (Шестаков В.М., Лукнер Л.), для чего требуется использование особых методов численной реализации расчетной схемы (Абуталиев Ф.Б., Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Бондаренко Н.Ф.) и является малоприменимой для решения крупномасштабных задач при больших массивах и таксономических единиц, с площадью более тысячи гектаров (Духовный В.А., Сорокина И.А., Каца Д.М.). На основании вышеизложенного для моделирования влагопереноса на орошаемых территориях воспользуемся подходом разработанным Денисовым Ю.М. при котором становится возможным рассчитывать влагоперенос для крупных (более тысячи гектаров) таксономических единиц.

Исходя из представления ненасыщенных почвогрунтов в виде многофазной среды, Денисовым Ю.М. получено следующее уравнение движения влаги в зоне аэрации :

$$\bar{q} = -K_{\theta}(\psi^*) \text{grad}(z - c\psi)$$

где  $K_{\theta}$  - коэффициент влагопроводности,  $\Phi$  - потенциал почвенной влаги, определяемый по выражению :

$$\Phi = M \left[ \left( \frac{1 + \sqrt{1 - \psi}}{\psi} \right)^m - 1 \right] + N \cdot \ln \left( \frac{1 + \sqrt{1 - \psi}}{1 - \sqrt{1 - \psi}} \right)$$

$M, m, N$  - параметры зависящие от физико-химических свойств почвогрунтов. В качестве уравнения баланса для зоны аэрации на некотором участке принимается следующее выражение:

$$(1 - \alpha_j)(Z_j^0 - H_j) F_j \frac{d\psi_j}{dt} = \sum_{i \in A_j} Q_{ji}^{\alpha} + (x_j - E_j) F_j - \psi_j^r$$

$j \in N^y$

где  $\alpha_j$  - относительный объем скелета почвогрунтов,  $N^y$  - количество участков,  $A_j$  - множество объектов, граничащих с  $j$  - м,  $Q_{ji}^{\alpha}$  - влагообмен.

Уравнение водного баланса для грунтовых вод представлено в виде :

$$(1-\alpha_j)F_j \frac{dH_j}{dt} = \sum_{i \in A_j} Q_{ji}^r + \psi_j^r$$

где  $F_j$  - площадь горизонтального сечения  $i$ -того элемента,  
 $Q_{ji}^r$  - фильтрационный поток из  $j$ -того в  $i$ -тый элемент,  
 с условием  $Q_{ji}^r = -Q_{ij}^r$ ,  
 $H_j$  - отметка уровня грунтовых вод  $j$ -того элемента.

Уравнение для фильтрационного потока с учетом высоты отметок водоупора :

$$Q_{ji}^r = -0.5 \cdot K_{ji}^{12} K_{ji}^p \lambda_{ji} [H_j^2 - H_i^2 + (H_j - H_i)(z_j^e + z_i^e)] : L_{ji}$$

Для моделирования открытых потоков был использован "камерный" метод при котором уравнение баланса для участка реки записывается следующим образом :

$$\frac{dW_j^p}{dt} = Q_{j-1} + P_j - Q_j - V_j \quad ; \quad j \in M^p$$

где  $W_j^p$  - количество воды на  $j$ -том участке,  
 $Q_{j-1}, Q_j$  - приходящий и уходящий соответственно расходы воды на  $j$ -том участке,  $P_j$  - приток на участке,  
 $V_j$  - водозабор на участке,  $M^p$  - количество последовательно соединенных участков.

В общем случае запас влаги на участке выражен в форме:

$$W_j^p = \int_0^{t_j} w_j(t) dt$$

Расход воды определен в виде :  $Q_j = \chi_j(\omega_j)$

Использование данных уравнений позволяет моделировать водный поток и в деформируемых руслах. Главным требованием является однозначность и стабильность во времени :  $\chi_j(\omega_j)$

$$L_j \frac{d\omega_j}{dt} = [\alpha_{j-1} \omega_{j-1}^2 + \beta_{j-1} \omega_{j-1}] - [\alpha_j \omega_j^2 + \beta_j \omega_j] + P_j - V_j$$

Количество воды, находящейся в сети, выражено:  $\omega_j^c = \Omega_j^c \chi_j^c F_j$   
 где  $F_j$  - площадь поперечного сечения занятого водой,

$\chi_j$  - густота сети на участке,  $F_j$  - площадь участка.

Для закрытой дренажной сети площадь живого сечения в зависимости от уровня наполнения выражается следующей формулой:

$$\Omega_j^c = \begin{cases} 0.5[2R\sqrt{2hR+0.3h} - (R-h)\sqrt{4hR-2h}] & \text{при } h < 2R \\ \pi R^2 & \end{cases}$$

где  $R$  - радиус элемента дренажной трубы,  $h$  - уровень наполнения. Поток влаги, выклинивающейся в сеть в виде:

$$Q^c = 2P \chi_j^2 F_j K_j^n K_j^\phi [H_j - (h_j^c + z_j^0)] \varrho^c \varepsilon$$

где  $h_j^c$  - уровень воды в сети.

Уравнение водного баланса для сети открытых потоков в виде:

$$\chi_j^c F_j B_j \frac{dh_j^c}{dt} = \sum_{i \in B_j} P_{ji}^c - Q_j^c$$

$P_{ji}^c$  - суммарное количество воды, поступившее из различных источников,  $Q_j^c$  - расход воды в дренажной сети.

Изменение массы соли в единице объема представлено :

$$\frac{dm_j}{dt} = \sum_{i \in A_j} m_i (V_{ji} - D \left[ \frac{m_j}{V_j} - \frac{m_i}{V_i} \right] : L_{ji})$$

где  $\kappa$  - индекс элемента, зависящий от направления потока влаги.

Во второй главе рассматривается алгоритмизация и программирование описанной математической модели. Для решения уравнений, описывающих функционирование системы, система представлена в виде некоторого графа, узлами которого являют-

ся элементы, а дугами — потоки влаги между элементами. Определяемой характеристикой для каждого узла является его "влагонасыщенность", т.е. количество влаги в элементе на определенный момент времени. "Влагонасыщенность" элемента зависит от потоков влаги, входящих, либо выходящих из элемента. Уравнение водного баланса для одного элемента в виде:

$$\frac{dW_i^T}{dt} = \sum_{i \in A_j} Q_{ji}$$

где  $w_j^T$  — количество влаги в  $j$ -том элементе,

$Q_{ji}$  — поток влаги из  $i$ -того элемента в  $j$ -тый, причем за положительное направление принимается "приходящий" поток влаги. Объем воды в элементе выражается:

$$W_j^T = z_j^T \cdot F_j^T$$

где  $z$  — уровень "влагонасыщенности", — объемные характеристики.

Индекс типа элемента:  $i \leq T \leq 5$

Для зоны аэрации:  $z_j^1 = v_j^1$ ;  $F_j^1 = (1 - \alpha_j) F_j^0 (z_j^0 - H_0)$

Для грунтовых вод:  $z_j^2 = H_j$ ;  $F_j^2 = (1 - \alpha_j) F_j^1$

Для открытого потока:  $z_j^3 = \omega_j$ ;  $F_j^3 = L_j^0$

Для оросительной сети:  $z_j^4 = h_j^c$ ;  $F_j^4 = \lambda_j^c F_j^0 B_j^c$

Для водоема:  $z_j^5 = W_j^0$ ;  $F_j^5 = 1$ ;

Уравнение изменения "влагонасыщенности":

$$\frac{dz_j^T}{dt} = \frac{1}{F_j^T} \sum_{i \in A_j} \bar{Q}_{ji}^T (z_j^T, z_i^T)$$

Расход воды между  $j$ -тым и  $i$ -тым элементом, некоторая известная функция с известными численными значениями

коэффициентов:  $\bar{Q}_{ji}^T = \bar{q}_{ji}^T (z_j, z_i)$

Численное решение системы уравнений, состоящей из конечного множества элементов (узлов) и потоков между ними, сводится к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений при известных краевых условиях разностными методами. Начальные условия задаются в виде уровней "влагонасыщенности" на начальный момент времени  $z_j = z_j(t_0)$  Задание граничных

условий производится в виде потоков или уровней влагонасыщенности на границе, зависящих от времени  $z_j^t = z_j^t(0)$

$Q_{ji} = Q_{ji}(t)$ ,  $z_j = z_j(t)$  с известными ограничениями. Учитывая, что в правой части уравнений функция " $f$ " имеет нелинейность по параметрам, использование неявного метода представляется затруднительным, поэтому воспользуемся явной разностной схемой (метод Эйлера) и запишем:

$$z_{ji}^{t+\tau} = z_j^t + \frac{\tau}{F} \left[ \sum_{i \in A} \chi_{ji} (z_j, z_i) \right]^t; \quad j \in N$$

где  $\tau$  - временной шаг интегрирования,  $N$  - количество элементов различных видов.

Выражение для потока массы растворенных веществ:

$$m_R \chi_{ji} = \alpha_R Q_{ji} - D \{c_j - c_i\} : L_{ji}$$

с учетом:

$$c_R^t = m_R : (z_R^t \cdot F_R^t); \quad R = \begin{cases} j & \text{при } Q_{ji} > 0 \\ i & \text{при } Q_{ji} \leq 0 \end{cases}$$

Баланс массы растворенного вещества в  $j$ -том элементе:

$$m_j^{t+\tau} = m_j^t + \tau \left[ \sum_{i \in A} (\alpha_R \cdot Q_{ji} - D \cdot \{c_j^t - c_i^t\} : L_{ji}) \right]^t$$

При программировании создана база данных содержащая: картографическую информацию, параметры узлов и дуг. Начальные значения уровней влагонасыщенности.

таблица 1

Коэффициенты уравнений связи измеренных расходов воды и площади поперечного сечения по створам р. Амударьи

створ	1985		1986		1987	
	А	В	А	В	А	В
п. Тюямуюн	0.00013	0.765	0.00015	0.786	0.00012	0.767
п. Кипчак	0.00042	0.341	0.00039	0.345	0.00041	0.338
п. Саманбай	0.00045	0.492	0.00043	0.512	0.00046	0.487
п. Кызылджар	0.00054	0.701	0.00053	0.698	0.00051	0.715
п. Ниетбайтас	0.00045	0.304	0.00047	0.289	0.00044	0.315

Тестирование модели было выполнено на опубликованных данных и показало хорошую сходимость с контрольными величинами. Коэффициент корреляции между расчетными и фактическими значениями расходов воды по гидростам составил :  
 п.Кипчак - 0.86, п.Саманбай - 0.96, п.Кызылджар - 0.95,  
 п.Ниетбайтас - 0.76, теснина Тяюмюн - 0.95.

По орошаемым участкам тенденционное совпадение хода уровня грунтовых вод, по материалам САНИИРИ ( Якубов Х.И., Насонов В.Г., Закс И.А.).

В третьей главе рассматривается гидромелиоративная обстановка в Хорезмской области. К наиболее важным факторам, обуславливающим сложность развития Хорезмского ВХК, относятся дефицит водных ресурсов. Имеющиеся ресурсы поверхностных вод в отдельные периоды не отвечают требованиям по качеству, т.е. минерализация оросительной воды при водозаборе, осуществляемом из реки Амударья, не отвечает требованиям водопотребителей и вынуждает увеличивать поливные нормы. Для получения стабильных урожаев в орошаемом земледелии, при прочих равных условиях, воды с большей минерализацией требуется больше, чем пресной. По данным Полинова С.А. коэффициент увеличения водоподачи имеет функциональную зависимость от общей минерализации оросительной воды.

минерализация оросительной воды (г/л)	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
коэффициент увеличения водоподачи	1.0	1.08	1.13	1.24	1.32

По структурно-генетическим условиям формирования подземных вод Хорезмская область принадлежит к платформенному типу, где уровни воды реки Амударья подпирают грунтовые воды, на западе они подпираются песчанниками, на севере глинистыми отложениями Даудана (Кунадарья), в связи с этим дренирующий эффект песков, где в основном формируются грунтовые воды области, незначителен (Рахимбаев Ф.М. "Мелиоративное состояние орошаемых земель"). В целом для Хорезмской области основным источником питания грунтовых вод является инфильтрация поливных вод на орошаемых полях, влагообмен с рекой Амударьей, потери из оросительных каналов, атмосферные осадки.

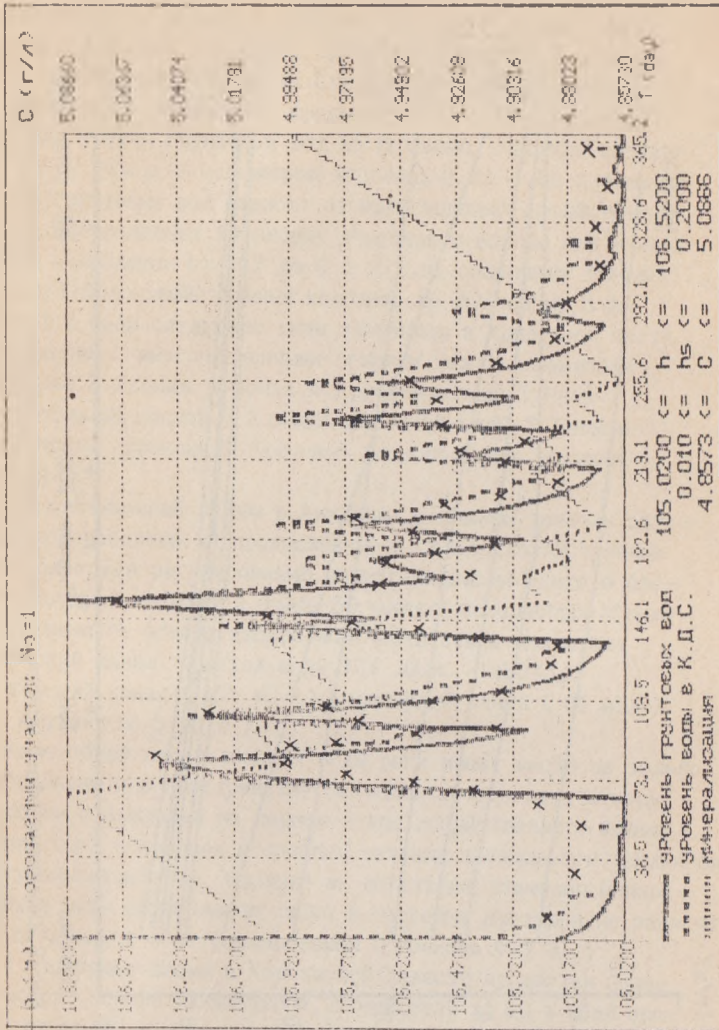
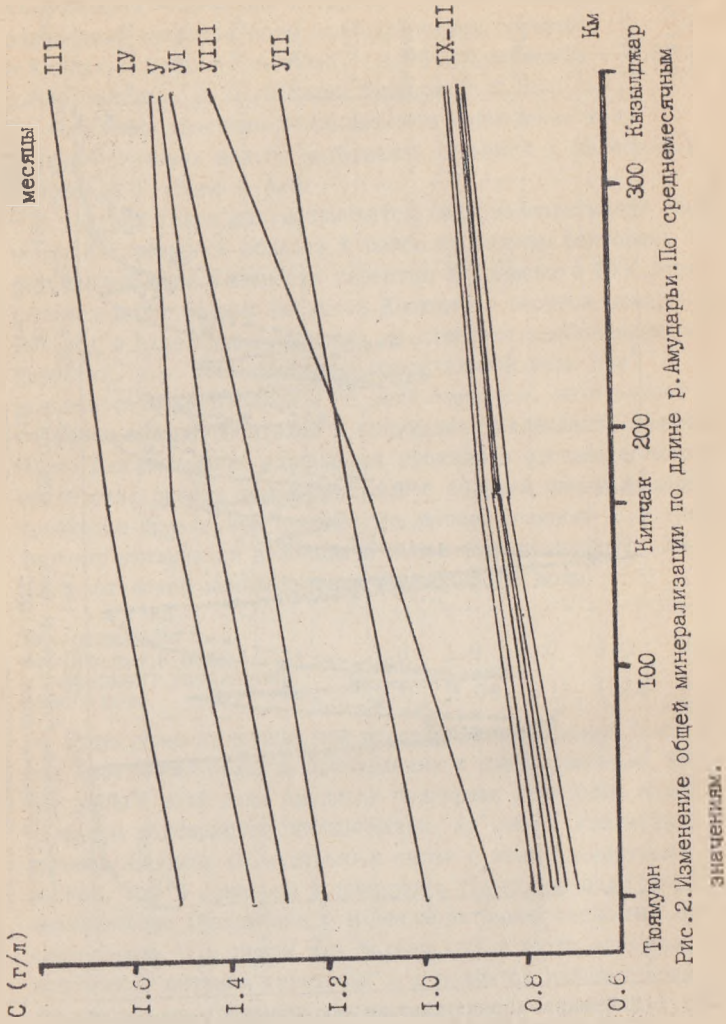


Рис. I. Динамика характеристик орошаемого участка №1, в пределах Хорезмской области. Время в сутках.

x - фактические значения уровня грунтовых вод.



Формирование режима грунтовых вод в орошаемой зоне можно рассматривать по типичным районам. Сезонный режим в зоне влияния р. Амударьи и крупных оросительных каналов отражает колебание уровней воды в них. Средние многолетние уровни грунтовых вод колеблются в пределах 1.14–2.11 м. Амплитуда колебаний уровня грунтовых вод на поливных участках составляет 1.2–2.32 м, а на неполивных массивах 0.59–1.20 м. Минерализация грунтовых вод зависит от ирригационно-хозяйственных условий. На орошаемых хлопковых участках и вблизи них минерализация колеблется от 0.7 до 6.5 г/л, на солончаке доходит до 40 г/л. Водохозяйственный комплекс по Духовному В. А. включает в себя следующие типы элементов в природной части при орошении с многочисленными связями между элементами: 1. Орошение. 2. Дренаж. 3. Почва. 4. Грунтовые воды. 5. Река. 6. Растительный покров. 7. Климат (приземный слой). 8. Геоморфологическое строение. 9. Побочные антропогенные влияния орошения.

Гидрологический режим р. Амударьи в нижнем течении обусловлен водозаборами на промышленные и сельскохозяйственные нужды, подвержен регулированию водохранилищами. Всего в бассейне Амударьи находится более 50 единиц водозаборов. Среди них крупными по объему забираемой части стока являются: Каракумский канал (расход воды 324 м<sup>3</sup>/с. Р=50%), Амубухарский канал (155 м<sup>3</sup>/с), Каршинский канал (81 м<sup>3</sup>/с), канал Амузанг (12.5 м<sup>3</sup>/с).

Изменение общей минерализации воды реки имеет место не только во времени, но и в пространстве бассейна от створа к створу. В бассейне р. Амударьи на первом этапе хозяйственного использования стока в верхнем и среднем течении наблюдается тенденция к росту минерализации. Средние за вегетацию значения минерализации в зоне потребления стока в бассейне Амударьи не зависят от ее величины в зоне формирования (Рубинова Ф. Э.).

В настоящее время в Хорезмской области орошается более 230 тыс. га. Основной культурой, занимающей до 60 % всей орошаемой площади, является хлопчатник. Оросительные мероприятия сопровождаются строительством коллекторно-дренажных систем для отвода излишков грунтовых вод, т.к. одним из важней-

ших параметров мелиоративного режима является глубина залегания уровня грунтовых вод. Диапазон регулирования уровня грунтовых вод в пределах 2–2.5 м., поддержание оптимального водно-солевого режима почв в годовом цикле путем проведения эксплуатационных промывок и применения промывного режима орошения с подачей на поле 10–11 тыс. м<sup>3</sup>/ га. Формирование коллекторно-дренажного стока происходит в основном в сети открытого типа. Коллекторно-дренажная сеть в Хорезмской обл. представлена в виде двух типов: межхозяйственной и внутрихозяйственной, которые различаются по своим характеристикам. Глубина заложения коллекторно-дренажной сети в пределах 2–2.5 м – внутрихозяйственная, 3–3.5 м – межхозяйственная. Густота сети различна по районам и находится в пределах: от 0,023 км/га (Багатский район), до 0,041 км/га (Янги-Арыкский район). В перспективе улучшения мелиоративного состояния земель предполагается использование системы вертикального дренажа (Якубов Х.И., Насонов В.Г., Закс И.А.). Применение которого позволит улучшить мелиоративное состояние орошаемых земель в данном регионе.

В четвертой главе представлены материалы исследований изменения водносолевого режима в бассейне р. Амударьи. Взаимодействие грунтовых вод, прилежащих к реке, и самой реки Амударьи носит сложный характер. В паводок уровень воды в реке повышается и превышает уровень грунтовых вод прилегающих территорий, вследствие чего происходит фильтрация речной воды в почву, приводящая к повышению уровня грунтовых вод. Вода реки, обладая меньшей минерализацией, приводят к ее снижению и в грунтовых водах. В меженный период и в период роста уровня грунтовых вод в результате оросительных мероприятий, поток грунтовых вод направлен в сторону реки, повышая не только расходы, но и минерализацию воды. В период формирования, в Амударью сбрасывается коллекторно-дренажный сток.

Совпадение хода уровней грунтовых вод и гидрографа расходов накладывает особый оттенок на взаимовлияние, т.е. кривая депрессии находится в сезонном колебании с обоих концов, что при незначительной разнице в уровнях дает

пульсационное изменение направления потока. В этом случае выщелачивание солей будет происходить значительно быстрее.

Как отмечают Ландау Л. Д., Лифшиц В. М.: "Если градиенты концентрации не велики, то можно считать, что вектор потока является линейной функцией от градиента потенциала смеси или:  $\vec{I} = -\alpha \nabla \mu - \beta \nabla T$ , где  $\alpha, \beta$  - коэффициенты диффузии и термодиффузии,  $T$  - температура раствора. При многократных изменениях направления вектора потока грунтовых вод происходит перемещение воды с соответствующим переносом малых концентраций к местам скопления солей, в результате чего, поддерживается постоянным высокий градиент концентрации, а перенос растворенного вещества происходит значительно быстрее, чем при постоянном направлении потока. Изменение минерализации по длине реки составляет: от 0.03 г/л на км до 0.08 г/л на км в течение года. В период формирования и сброса коллекторно-дренажных вод, около 0.1 г/л на км, что указывает на существенное влияние сбросов на режим реки. Основным поставщиком минеральных компонентов в реку являются грунтовые воды. От их доли в величине общего стока зависит общая минерализация. При сбросе коллекторно-дренажных вод в реку, происходит значительное нарушение естественного режима реки.

Для ирригационных целей в створе теснины Тюямуюн было выполнено перекрытие русла р. Амударья (1975 г.), с последующим созданием Тюямуюнского гидроузла. В составе Тюямуюнского гидроузла четыре водохранилища, суммарным объемом 7.8 км<sup>3</sup>. Проектные объемы в водохранилищах следующие: Русловое - 2.34 км<sup>3</sup>, Капарас - 0.95 км<sup>3</sup>, Султансанджар - 2.69 км<sup>3</sup>, Кошбулак - 1.81 км<sup>3</sup>.

Русловое водохранилище образовано в пойме р. Амударья, остальные наполнением естественных понижений местности. Заполнение водой емкостей неизбежно привело к выщелачиванию солей из подстилающего ложа водохранилищ. В чаше Султансанджар, перед наполнением, существовали солончаки с одноименным названием. Солончаки Султансанджар были естественным аккумулятором солей, поступающих туда подземным путем, вместе с грунтовыми водами. Естественное понижение, дренируя соседние

территории, аккумулировало огромные запасы солей из-за отсутствия оттока и большого испарения. В результате наполнения водой, водохранилище Султансанджар в начальный период имело минерализацию до 30 г/л, особенно близко ко дну, в процессе эксплуатации, минерализация воды постепенно снижалась и в настоящее время составляет около 1.6 г/л. (Каюмов О.А.)

Процесс растворения корневых залежей солей в этом водохранилище еще продолжается. За год в раствор переходит до 700 тыс. т. соли, или около 60 тыс. т. в месяц. Изменилось соотношение между уровнем грунтовых вод и уровнем воды в емкости, в результате повышения уровней наполнения. Уровень мертвого объема водохранилища Султансанджар составляет 116 метров, а нормально подпертый уровень 130 м. Перепад уровней составил 14 м. Превышение уровня значительно сократило приход грунтовых вод и соотношение уровней значительно влияет на направление потока солей.

Известно, что направление потока грунтовых вод в пористой среде зависит от градиента напора (уравнение Дарси). Поэтому, повышение уровня воды в Султансанджаре изменило соотношение уровней с близлежащими территориями, что сказалось на скорости потока. Кривая депрессии изменила свои параметры и уклон линии уровня грунтовых вод стал значительно меньше.

Минерализация грунтовых вод в среднем составляет около 8.7 г/л, а минерализация воды в Султансанджаре в начальный период доходила до 30 г/л. Суммарный поток солей зависит не только от потока раствора, но и от градиента концентрации, таким образом, направление движения диффузионного потока направлено от мест с большей концентрацией к местам с меньшей. Согласно первому закону Фика, поток диффузии пропорционален градиенту концентрации:

$$y = -D \left( \frac{dc}{dx} \right)$$

где  $D$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от вещества.

**ВЫВОДЫ.** Экологические изменения, происходящие в Приаралье, имеют комплексный характер. Процессы, приводящие к ухудшению экологической обстановки, могут иметь не только антропо-

погенный характер, но и естественное происхождение.

Проведенные исследования дают основание для следующих выводов:

1. Разработана математическая модель сложной водохозяйственной системы, позволяющая рассчитывать влаго-солеперенос между основными типами водохозяйственного комплекса.

В качестве составных элементов в модели рассматриваются: орошаемые территории, включающие зону аэрации, грунтовые воды, коллекторно-дренажную сеть, открытые потоки (реки и крупные каналы, как самостоятельные единицы водохозяйственного комплекса), водоемы и водохранилища.

2. Разработан алгоритм расчета, ввода и корректировки исходной информации, который реализован в виде комплекса программ на языке Си для ЭВМ, с использованием интерактивной компьютерной графики. Что позволяет вводить и контролировать исходную информацию с наименьшими трудозатратами.

Результаты расчетов выдаются в виде графиков временного хода характеристик по каждому элементу системы, чем достигается наглядность и упрощение анализа результатов расчета.

3. Разработаны методы адаптации параметров модели к реальным объектам, на основе традиционной информации, опирающейся на карты гидрогеологического и мелиоративного районирования, сведения гидрометеорологической службы.

4. При моделировании открытых потоков учитывается зависимость времени добега элементов паводка от величины проходящих расходов воды, что существенно повышает точность прогнозных расчетов. Коэффициент линейной корреляции между рассчитанными по модели и фактическими значениями расходов воды для створов р. Амударья находится в пределах 0.86-0.93.

5. Расчеты по адаптированной к натуре модели и фактически наблюдаемые значения минерализации воды по р. Амударье (по данным водного кадастра гидрометслужбы), показывают на общее увеличение минерализации воды по течению реки. Увеличение минерализации в среднем за год составляет от 0.03 г/л на км до 0.08 г/л на км.

В период формирования и сброса коллекторно-дренажных вод градиент минерализации увеличивается в три раза и достигает 0.1 г/л на км.

6. На основе сопоставления расчетов по модели, анализа космических снимков и по материалам гидрогеологических исследований, выявлено влияние процесса наполнения емкостей Тюмююнского водохранилища на окружающие территории.

7. Водносоловой режим в бассейне р. Амударьи определяется комплексным взаимодействием водохозяйственных объектов. Мероприятия проводимые на отдельных элементах водохозяйственной системы неизбежно приводят к изменениям во всем водохозяйственном комплексе.

8. Численная реализация модели, адаптированная к реальному объекту, позволяет имитировать функционирование объекта при проведении предлагаемых технических мероприятий, что в свою очередь позволяет получить прогноз изменения природной среды.

9. Создание и численная реализация математической модели, учитывающей различные по своему характеру объекты, относится к наиболее сложным работам, т.к. учитываются различные по виду взаимодействия связи, привязка которых к реальным взаимодействиям требует большей наукоёмкости, чем в случае однотипных.

10. Практическая реализация разработок диссертации при анализе экологической обстановки в Приаралье подтверждает их эффективность, а также перспективность выбранного автором направления исследований.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Мягков С.В. Резкое ухудшение качества воды в реке Амударье под воздействием мелиораций. Тр. САНИИРИ. Ташкент, 1986г.

2. Мягков С.В. Математическая модель взаимосвязи поверхностных и грунтовых вод. Тр. САНИИРИ, Ташкент, 1987г.

3. Мягков С.В. Экономические условия водопотребителей в орошаемом земледелии. В сб. Научное обеспечение эффективности использования мелиорируемых земель. М., 1987г.

4. Мягков С. В. Изменение качества оросительной воды по течению реки. В сб. Повышение эффективности мелиорируемых земель. Тбилиси, 1987 г.

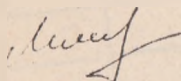
5. Мягков С. В., Соколов В. И. Особенности формирования дренажно-сбросных вод и методика их прогнозирования в бассейне реки. Тр. САНИИРИ, Ташкент, 1986.

6. Рекомендации по методике расчета объема коллекторно-дренажного стока на предстоящий год.

/Мягков С. В., Соколов В. И./ (Утверждены Миводхозом УзССР 16 апреля 1990 г.)

7. Пакет научно-прикладных программ "Динамический водный баланс орошаемых территорий". Мягков С. В., Тучин А. И.

В сб. Научно-технические достижения рекомендуемые к использованию в водном хозяйстве. Госконцерн "ВОДСТРОЙ". М., 1991 г.



Подписано в печать 9.01.92 г.  
Зах. Ю. Тир. 100 экз. объем 1,5 п.л.

---

г. Ташкент, ул. Якуба Колоса 24 ИЦ НПО САНИИРИ