

556.5
17-78

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОНЦЕРН
ПО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ
«ВОДСТРОЙ»
НПО САНИИРИ

ПРОБЛЕМА АРАЛА И ПРИАРАЛЬЯ

Ташкент 1991

11-78
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОНЦЕРН
ПО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ
„ВОДСТРОЙ“
НПО САНИИРИ

ПРОБЛЕМА АРАЛА
И ПРИАРАЛЬЯ



Ташкент 1991

Проблема Арала и Приаралья

Сборник научных трудов, Ташкент,
НПО САНИИРИ, 1991, с.

В сборнике изложены результаты наиболее существенных аспектов проблемы снижения уровня Аральского моря и основные направления исследований для решения экологических проблем Приаралья. Публикуются результаты исследований по гидробиологии и гидрохимии водоемов Приаралья, математические модели и результаты численного моделирования по ним процессов массопереноса в различных средах.

Редакционная коллегия:

В.А.Духовный (гл.редактор), А.Н.Крутов (отв. за выпуск), Ш.Х.Рахимов, А.Г.Пулатов, А.С.Меркина.

С

Научно-производственное объединение "САНИИРИ",
1991

В.А.Духовный, докт.техн.наук,
А.Н.Крутов, канд.техн.наук
(НПО САНИИРИ)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИАРАЛЯ

Экологическая катастрофа, разразившаяся в Приаралье, — это не результат единовременного действия, а последствия программы, воплощенной в жизнь.

Оценивать сложившуюся в регионе ситуацию можно с разных позиций. Например, с точки зрения эволюции народнохозяйственного комплекса и получения эффекта от его развития или с точки зрения качества среды обитания. Но не учитывать взаимного влияния различных сторон фактически одного процесса нельзя. Ведь ясно, что, если забор воды на орошение позволяет получать дополнительный продукт, то он же приводит и к уменьшению стока в реке и, тем самым, наносит определенный ущерб, который оценивается как в натуральном, стоимостном выражении, так и в виде социального и экологического ухудшения среды обитания.

Экологические проблемы Приаралья следует рассматривать прежде всего с позиции стратегии развития, учитывая ограниченность ресурсов вообще и водных, играющих особую роль в Средней Азии, в частности. Понятно, что цивилизация не может остановиться в своем развитии, но регулирование в разумных пределах этого развития представляется в настоящее время единственно возможным путем сохранения существования человечества. К сожалению, экологическое мышление с большим запозданием пришло ко всему человечеству и к нам тоже. Но процесс поиска отличия между симминутным развитием и долгосрочным будущим природы достаточно сложен и неоднозначен.

Сокращение водоподачи в Аральское море привело к существенным негативным изменениям природных условий. Для Приаралья это — опустынивание дельты, деградация тугайной растительности, снижение уровня грунтовых вод и переход гидроморфных почв в автоморфные, повышение минерализации воды в остаточном водоеме моря и грунтовых вод, соле- и пылеперенос с осушенного дна моря; для низовий рек — потеря естественной водности, загрязнение воды пестицидами, тяжелыми металлами, биогенными элементами, значительное увеличение минерализации, снижение содержания наносов в речной воде и, как следствие, увеличение непроизводительных потерь в каналах, потеря естественно-

го плодородия.

Многолетние комплексные исследования позволяют сделать вывод, что проблемы Приаралья нельзя решить простым восстановлением стока в Арал в объеме шестидесятих годов (около 47 км^3 в год). Во-первых, даже при такой величине подачи потребуется более 50 лет для восстановления бывшей акватории; во-вторых, пришлось бы к 2000 г. почти вдвое сократить площади орошаемых земель. Специально выполненные расчеты восстановления моря до отметки 53,0 к 2000 или 2010 г. показали, что для этой цели понадобится от 73 до 111 км^3 в год без учета требований дельты. Ясно, что таких ресурсов без нанесения огромного ущерба обществу ни в бассейне моря, ни извне получить невозможно. Поэтому подход к ликвидации указанных выше последствий путем раздельного решения локальных задач кажется наиболее обоснованным. Исходя из этих посылок, был определен комплекс мероприятий раздельно для Приаралья и нижнего течения Сырдарьи и Амударьи, включающий весь объем первоочередных водохозяйственных, мелиоративных и природоохранных работ.

Первый этап — мероприятия по обводнению дельты, стабилизация озера Судочье, строительство водохранилищ и каналов, создание системы лиманного орошения. Общая сумма капитальных вложений для этих целей составит 1026,7 млн.руб. Потребность в воде в дельте Амударьи — $5,53 \text{ км}^3$, Сырдарьи — $3,2 \text{ км}^3$ в год.

Второй этап — постепенное развитие аванделты в виде нарастающей системы мелководных водоемов. Затраты по второму этапу составят около 80 млрд.руб. Потребность в воде — $9,2 \text{ км}^3$ в год.

Из поставленных задач формируются основные направления исследований. Они могут быть представлены в виде некоторой иерархической структуры. Так, для первого этапа, по-видимому, в первую очередь необходимо рационализировать всю систему водопользования. Эта проблема может быть решена в результате осуществления мероприятий по водосбережению и улучшению качества воды в бассейнах рек. Понятно, что эти работы имеют различные аспекты и поэтому должны включать решение специфических задач, таких, как разработка технологии закрепления легкоподвижных, в том числе сильнозасоленных грунтов осушенной части дна Аральского моря; рационализация размеров мелководных водоемов и их местоположения; очистка коллекторно-дренажного стока от сельскохозяйственных и иных видов загрязнений; комплексная реконструкция орошаемых земель; развитие АСУ в бассейнах рек и т.д.

Одна из главных задач — обеспечение если не комфортных, то по крайней мере удовлетворительных условий проживания населения. В этом отношении фитомелиоративные работы, включая посадку пустынных растений, с полным основанием можно считать разумным способом борьбы с опустыниванием Приаралья. Тем более, что это позволит не только решить проблему закрепления подвижных песков, но, что не менее важно, создать кормовую базу для животноводства, стабилизировать экологическую ситуацию в целом. Использование даже в минимальных объемах обрасываемого в естественные понижения — солесборники — коллекторно-дренажного стока даст возможность многократно повысить эффективность фитомелиоративных работ. Первые результаты таких работ, выполняемых совместно с объединением "Союзлес", дали весьма обнадеживающие результаты.

Для улучшения социально-экономической ситуации в Приаралье необходимо привести рацион питания в соответствие с рекомендуемыми нормами.

Опыты, проведенные НПО САНИИРИ и Институтом ботаники АН УзССР, подтвердили возможность выращивания в регионе соле- и засухоустойчивых культур, что можно считать одним из важных резервов обеспечения населения продуктами питания. Основные усилия должны быть направлены на подбор такого состава культур, который, с одной стороны, мог бы обеспечить потребности населения в сбалансированном питании, а с другой — гарантировал бы экономически целесообразное культивирование его в сложных климатических условиях. Наряду с этим большое значение имеют стратегия и эффективные методы хозяйствования, использования и утилизации коллекторно-дренажного стока.

Задержим свое внимание на последнем. Объем коллекторно-дренажного стока в бассейне Аральского моря составляет $20 \text{ км}^3/\text{год}$, причем, этот сток не только высокоминерализован, но зачастую содержит токсичные вещества: ионы тяжелых металлов, органические вещества различного происхождения, в том числе пестициды и их метаболиты. Традиционные методы очистки мало эффективны для наличествующих концентраций объемов. Опыт опреснения, частичной деминерализации и очистки коллекторно-дренажного стока показывает, что капитальные и эксплуатационные затраты, необходимые для доведения воды до требуемых кондиций, столь велики, что вряд ли можно ожидать в ближайшее время применения этих методов в требуемых масштабах. По-видимому, необходим нестандартный подход, а точнее принципиально новая технология. В этом отношении определенный интерес представляют два направления; так называемые пассивные способы очистки, свойственные самой

природе и основанные на способности биоты поглащать и модифицировать минеральные (в т.ч. загрязняющие вещества) и активные, требующие определенных энергетических затрат.

И тот и другой путь имеет свои преимущества и недостатки. Для способов, использующих естественные, природные механизмы очистки, характерны длительность, практическая неуправляемость процессами, незначительная эффективность, с одной стороны, и минимальные капитальные вложения с другой. Активные способы очистки весьма энергоемки и капиталоемки (при этом часто не учитывается тот факт, что нет необходимости в получении абсолютно чистой воды, достаточно довести ее качество до требований стандарта).

Мы видим решение проблемы в совмещении естественных и искусственных процессов. Перспективным, на наш взгляд, является способ, при котором в качестве основного источника энергии используется солнце. В отличие от существующих низкотемпературных и потому малоэффективных установок необходимо разработать устройство, концентрирующее солнечную энергию, позволяющее увеличить коэффициент полезного действия и снизить материалоемкость. Недостатком такого способа является утилизация полученного концентрированного рассола либо сухого вещества. Однако при этом следует учесть, что получаемых рассолов на несколько порядков меньше исходных и они могут либо сбрасываться в естественные, уже существующие солесборники, либо быть захоронены в отработанных газовых или нефтяных месторождениях. Сухое же вещество может явиться исходным сырьем для химической промышленности.

Решение описанных проблем, гидрогеологических и метеорологических задач и их экологических аспектов позволит создать эколого-экономическую модель Приаралья. Реализация такой модели в виде пакетов прикладных программ, объединенных в едином комплексе, позволяющем функционировать каждому пакету самостоятельно или в совместном режиме, даст возможность решать прогностические задачи для региона и разыгрывать различные сценарии развития ситуации.

Таким образом, только комплексный подход с учетом всего многообразия действующих факторов даст возможность решить проблему восстановления и стабилизации экологической системы Приаралья.

А.Н.Крутов, канд.техн.наук
(НПО САНИИРИ)

А.Н.Милитеев, докт.техн.наук
Н.В.Овинова
(ЦНИИС)

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ КАПАРАССКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Для обеспечения низовий Амударьи качественной питьевой водой принято решение об использовании в качестве источника централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения Капарасской емкости Туямузского гидроузла. При этом предполагается водозабор осуществлять с помощью насосной станции, располагаемой на северном берегу емкости на незначительном удалении от шлюза-регулятора, через который вода из Русловой будет подаваться в Капарасскую емкость (рис.1).

Один из основных вопросов, возникших в связи с необходимостью принятия проектных решений, — прогноз качества воды. Исследованиями установлено, что минерализация воды в Капарасской емкости почти всегда несколько выше речной, поэтому при его заполнении возможно возникновение стратифицированных течений (плотностного расслоения). В связи с этим были разработаны модели двух уровней:

первый — трехмерная модель, позволяющая определить характеристики стратифицированных течений как в плане, так и по глубине;

второй — двумерная (в плане) модель, позволяющая проводить расчеты смешения сточных вод за длительный период времени. Причем, модель второго уровня можно применять в случае, когда расчеты по первой модели дают достаточно хорошее смешение по глубине, т.е. стратификация отсутствует.

Обе модели позволяют вести расчеты как при наличии ветрового воздействия, так и в штилевой период.

Алгоритм, используемый для двумерной модели, описан в [1].

Для расчета гидродинамического режима стратифицированного водоема принята трехмерная модель течения со следующими упрощениями:

1) все гидродинамические величины рассматриваются в некотором масштабе $dM = L^2 \cdot T \cdot dz$, где L — линейный масштаб в плане (причем, $L > h$); $T = L/u$, где u — характерная скорость потока,

2) пренебрегаем производной от вертикальной составляющей скорости по горизонтальной координате по сравнению с производной от горизонтальной составляющей скорости по вертикальной координате.

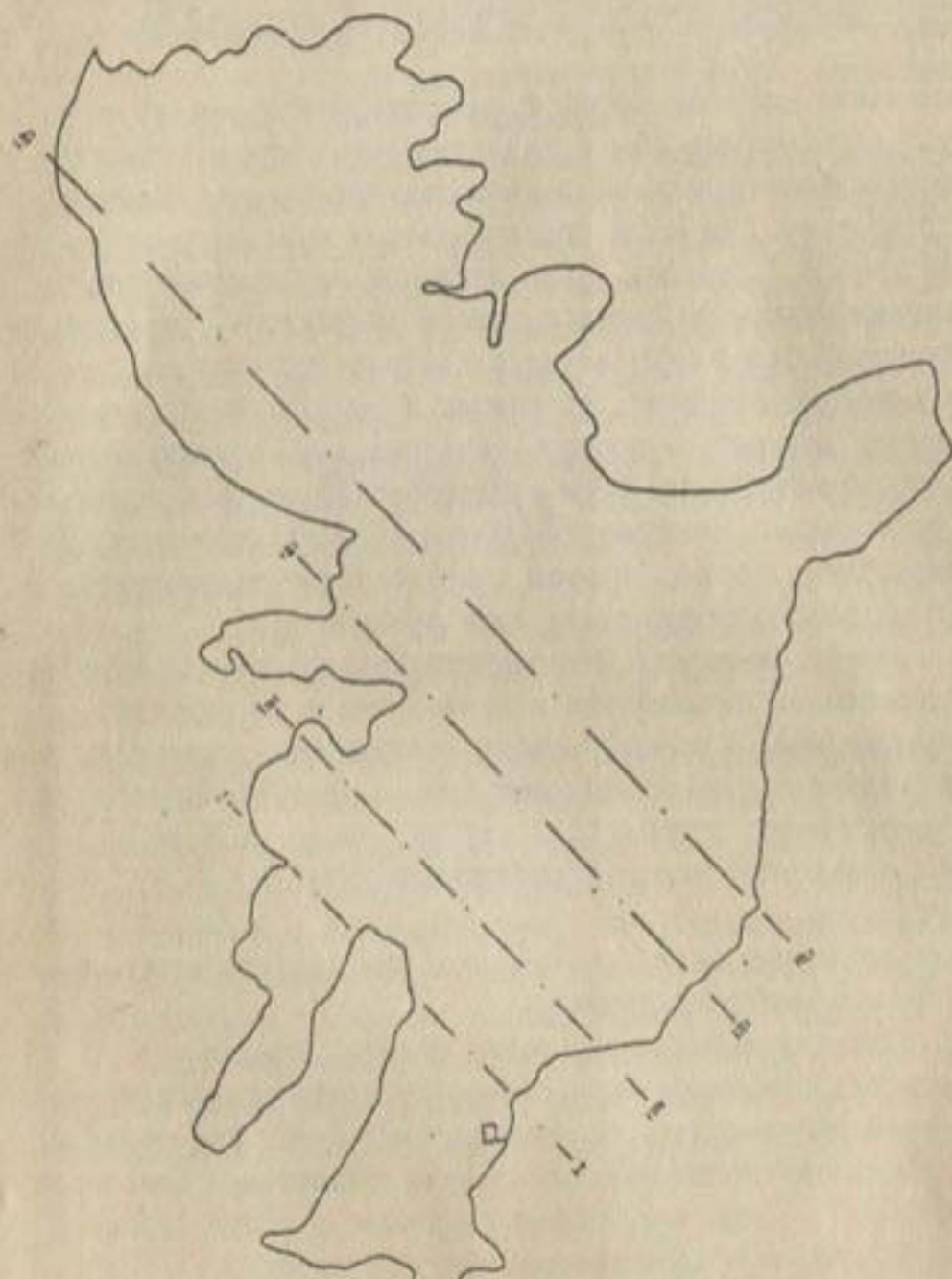


Рис. 1. Схема Капарасской емкости:

P - место предполагаемого водозабора;

I, II, III, IV - створы, по которым проводились натурные наблюдения.

3) пренебрегаем вторыми моментами, возникающими в процессе осреднения по масштабу dM , характеризующими обмен импульсом и теплом между струями в плане;

4) относительно вторых моментов, характеризующих обмен между струями в вертикальных плоскостях, используется гипотеза турбулентной вязкости, а для замыкания системы уравнений используются модели Кармана и "К-Е" [2,3].

Система уравнений с учетом упрощающих допущений имеет вид:

$$\rho \left(\frac{d\sigma_1}{dt} - \sigma_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \sigma_2 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \right) = \frac{\partial^2 \tau_1}{\partial z^2} + g \frac{\partial \rho}{\partial x_1}$$

$$\rho \left(\frac{d\sigma_2}{dt} + \sigma_2 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} - \sigma_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right) = \frac{\partial^2 \tau_2}{\partial z^2} + g \frac{\partial \rho}{\partial x_2}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \frac{\partial z_n}{\partial t} + (u_i)_n \frac{\partial z_n}{\partial x_i} = \omega_n$$

$$\frac{\partial S_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial S_i}{\partial x_i} + \omega \frac{\partial S_i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} D \frac{\partial S_i}{\partial z}$$

$$\rho = \rho(S_i); \quad \tau_1 = \mu \frac{\partial u_1}{\partial z}, \quad \tau_2 = \mu \frac{\partial u_2}{\partial z}; \quad \mu = \nu \rho, \quad \sigma_i = \frac{\partial u_i}{\partial z}$$

$$\frac{\mu}{\rho} = \nu = c_\mu \frac{\kappa^2}{\varepsilon}; \quad D = \frac{\nu}{\sigma_\varepsilon}$$

$$\frac{\partial \kappa}{\partial t} + u_i \frac{\partial \kappa}{\partial x_i} + \omega \frac{\partial \kappa}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu}{\sigma_\kappa} \frac{\partial \kappa}{\partial z} \right) - F_\kappa;$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} + \omega \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + F_\varepsilon; \quad F_\kappa = (\rho + G) + \varepsilon$$

$$F_\varepsilon = C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{\kappa} (\rho + G) (1 + C_{3\varepsilon} R_{i,f}) - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{\kappa}$$

$$R_{i,f} = -\frac{G}{\rho + G}, \quad \rho = -\nu \left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_2}{\partial z} \right)^2 \right]$$

$$G = -\beta g \frac{\nu}{\sigma_\rho \rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}. \quad (I)$$

Здесь $i = 1, 2$; X_1, X_2 - координаты в плане; z - координата, направленная вертикально вверх; z_n - отметка свободной поверхности;

u_1, u_2, ω - проекции скорости на оси X_1, X_2, z ; g - ускорение силы тяжести; ρ - плотность воды; ν - коэффициент турбулентной вязкости; D - коэффициент диффузии; S_i - температура воды;

S_2 - соленость воды. κ - энергия турбулентности; ε - скорость диссипации турбулентности; P - член, характеризующий генерацию энер-

гии турбулентности; G - член, характеризующий изменение энергии турбулентности за счет архимедовых сил; β - коэффициент объемного расширения; R_{if} - модифицированное число Ричардсона /1/; $C_M, C_N, C_{2E}, C_{3E}, \sigma_K, \sigma_E, \sigma_\epsilon$ - эмпирические константы, в сдвиговых течениях они имеют значения:

$$C_M = 0.09; C_{1E} = 1.44; C_{2E} = 1.92; C_{3E} = 0.8; \sigma_K = 1.0; \sigma_E = 1.3; \sigma_\epsilon = 0.9.$$

Решение рассматривается в области, ограниченной поверхностями $\sigma_{xy}, z = z_n/x, y/z, z = z_A/x, y/z$; σ_{xy} - поверхность с вертикальной образующей, имеет след на плоскости $z = \sin \alpha \Gamma(x, y)$, где Γ - граница водоема, z_A - поверхность дна.

Граничные условия для уравнений $z = z_n$ и $z = z_A$ следующие. Предполагается, что на этих границах выполняется принцип локального равновесия турбулентности /2/, т.е.

$$K_r = \frac{\tau_r}{\rho} \cdot \frac{1}{\sqrt{C_M}}; \quad \sigma_r = \frac{\tau_r}{\rho \Delta r}, \quad (2)$$

где τ_r - касательное напряжение (индекс "r" указывает на принадлежность соответствующей границе).

$$(\tau_n)_i = \lambda_\delta W_i / W; \quad (\tau_A)_i = \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial z} \right) \Big|_{z=z_A}, \quad (3)$$

здесь Δ - характерный выступ шероховатости при $\Gamma = \Pi$ и характерная высота ветровой волны при $\Gamma = \Pi/3$; λ_δ - коэффициент ветрового трения; W_i - составляющая скорости ветра.

Краевые условия для скорости:

$$u \Big|_{z=z_A} = 0 \quad \vee \quad \tau \Big|_{z=z_A} = \alpha_A (u \Big|_{z=z_A})^2, \quad \mu \frac{\partial u_i}{\partial z} \Big|_{z=z_n} = \tau_{in} \quad (4)$$

для S_i :

$$D \frac{\partial S_i}{\partial z} \Big|_{z=z_n} = \alpha (S_i - S_{ei}), \quad D \frac{\partial S_i}{\partial z} \Big|_{z=z_A} = 0, \quad (5)$$

где S_{ei} - нормально-естественная температура, S_{ez} - фоновая концентрация.

Граничные условия на σ_{xy} ставятся следующим образом:

$$\vec{u} \Big|_{\sigma_{xy}} = \vec{u}_0(t) \Big|_{\sigma_{xy}}, \quad \text{если } u_n > 0$$

$$\frac{1}{h} \int_{z_A}^{z_n} \vec{u} dz = \vec{q}(t) \Big|_{\Gamma(x,y)}, \quad \text{если } q_n > 0, \quad q_n = \frac{1}{h} \int_{z_A}^{z_n} u_n dz. \quad (6)$$

Здесь $\vec{q}$ - заданный вектор удельного расхода;

$\vec{u}_0$ - заданный вектор горизонтальной скорости;

n - нормаль к поверхности σ_{xy} .

Считается, что $\frac{\Delta \rho}{\rho} \ll 1$ (7),

т.е. в левой части уравнения (1) $\rho = \text{const}$.

Сравнение результатов экспериментальных исследований /4/ и расчетов по предлагаемой модели приведено на рис.2. Полученную сходимость можно считать очень хорошей.

Качество воды в любом водоеме связано с наличием или отсутствием плотностного расслоения, поэтому важно выяснить, при каких условиях такое расслоение существует, а при каких нарушается.

В Капарасской емкости существуют солевые линзы, из которых соль поступает в водохранилище.

Очевидно, что в период, когда не происходит наполнения водохранилища и при отсутствии ветрового воздействия более тяжелая соленая вода, образующаяся вследствие диффузии соли, будет находиться только в глубинных слоях и поверхностные воды засолиться не будут.

В реальных условиях практически всегда действует ветер. Поскольку разработанная трехмерная математическая модель учитывает воздействие ветра на поле скоростей и смещение воды, то были проведены расчеты, позволяющие оценить воздействие ветра. При этом краевое условие на поверхности солевых линз задавалось в виде

$$D \frac{\partial S}{\partial z} = \alpha (S - S_e),$$

где S_e - насыщенный раствор соли;

α - коэффициент соледдачи.

Поскольку значение коэффициента α зависит от множества факторов, то априорно его определение невозможно, требуется идентификация по натурным наблюдениям. Согласно имеющимся данным, среднемесячное поступление соли составляет 8 тыс. тонн. Исходя из этой величины определяли коэффициент α , который оказался равным $2 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$.

Следует отметить, что для наших целей - изучения процесса смешения поверхностных вод с глубинными под воздействием ветра - точное значение этого коэффициента не существенно. При изменении его на порядок качественная картина распределения солености по глубине не меняется.

В расчетах коэффициент ветрового трения λ_δ принимался равным $2 \cdot 10^{-6}$, скорость ветра, наиболее характерная для данного региона, - 4 м/с. Следует отметить, что у разных авторов значения λ_δ различные, реально это соответствует диапазону ветра 3-6 м/с.

Расчеты проводились следующим образом. В качестве начальных условий принималось равномерное по объему распределение солености в водохранилище S_0 . Затем включалось ветровое воздействие. Целью расчетов являлось выявление характеристик перемешивания воды. Эпо-

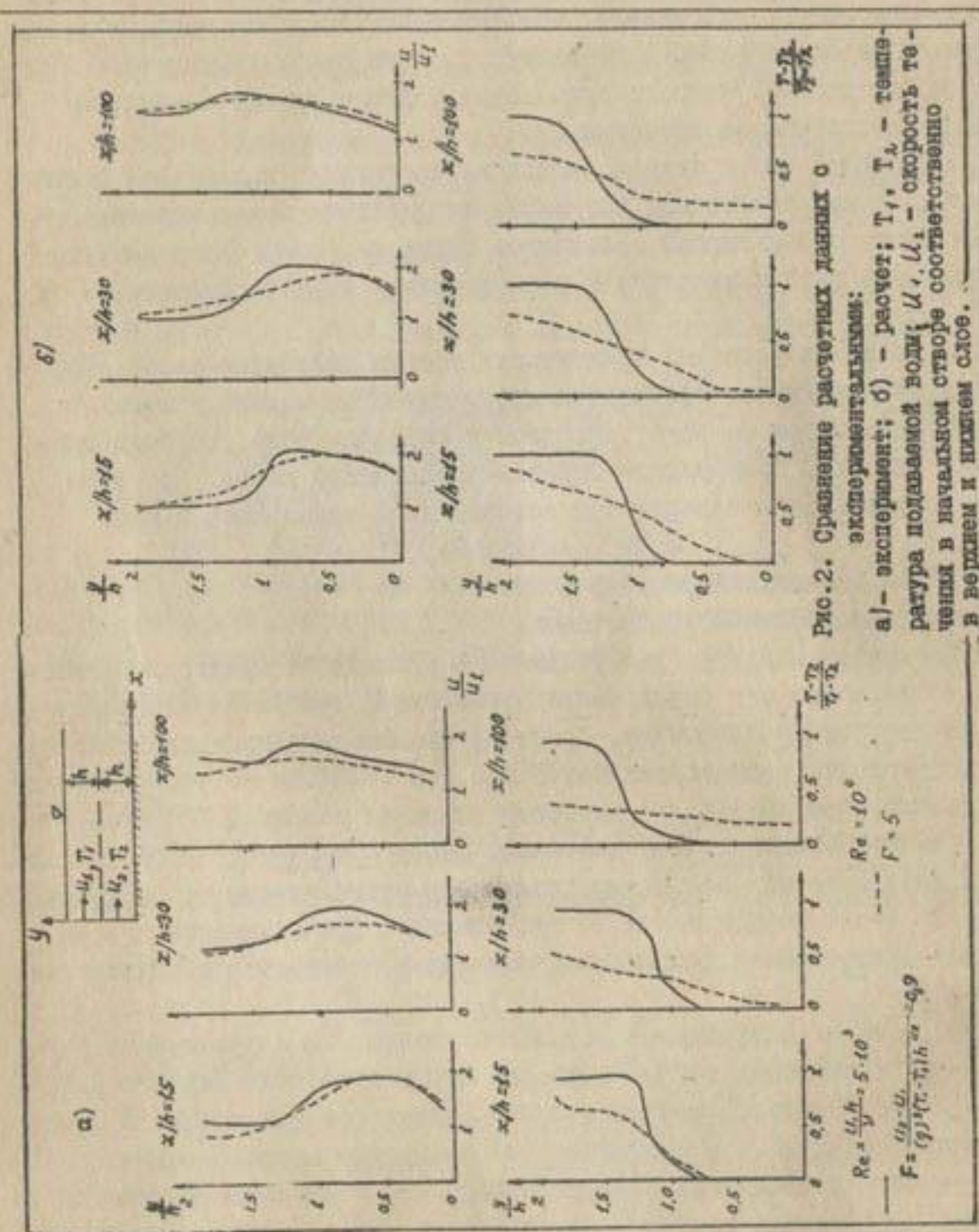


Рис. 2. Сравнение расчетных данных с экспериментальными: а) - эксперимент; б) - расчет; T_1, T_2 - температура подаваемой воды; u, u_1 - скорость течения в начальном створе соответственно в верхнем и нижнем слое.

ры распределения солености по глубине в различных точках водохранилища показаны на рис. 3. Координаты i, j здесь соответствуют номеру клетки i, j на прямоугольной сетке, которой аппроксимировалась область водохранилища (рис. 4).

Как видно из рис. 4, распределение солености по глубине практически равномерное, за исключением мест, приуроченных к солевым линзам, т.е. вымываемая соль проникает во все места водохранилища. Для демонстрации того, что ветер средней интенсивности разрушает стратифицированное течение, был проделан следующий численный эксперимент. Начальные условия: верхний слой воды толщиной 6,7 м имел соленость S_1 , а нижний S_2 , причем, $S_2 - S_1 = 1$ г/л. На рис. 5 представлены результаты расчетов, где показано распределение $\tilde{S} = (S - S_2) / S_2$ по глубине в различных точках водохранилища в начальный момент, на 2-е и 5-е сутки после начала ветрового воздействия. Как видно из рис., уже на 5-е сутки концентрация соли по глубине практически не изменяется.

Таким образом, расчеты показывают, что при ветрах, характерных для этого региона, вода в водоеме перемешивается по глубине так, что стратификация отсутствует, т.е. наблюдается практически равномерное распределение плотности воды по глубине, за исключением небольших по объему глубинных слоев, приуроченных к солевым линзам. Время смешения при ветрах 3-6 м/с составляет всего 5-6 сут.

Следовательно, можно принять, что перед наполнением водохранилища плотностное расслоение в нем практически отсутствует.

В штилевой период при наполнении водохранилища менее соленой или, что то же самое, менее плотной водой возникает резко выраженная стратификация.

Расчеты проводились для характерной разницы солености между подаваемой и водохранилищной водой ($\Delta S = 0,4$ г/л). При этом через водовыпуск подавалась вода с консервативной примесью с условной концентрацией $S_p = 0,32$ мг/л.

Расчеты выполнялись как для штилевого периода, так и для ветров с различным направлением скорости $W = 4$ м/с.

В штилевой период (рис. 6) вся примесь распространяется в поверхностном слое, т.е. возникает резко выраженная стратификация. При воздействии же ветра (рис. 7) стратификация наблюдается до расстояния $\approx 3,5$ км от водовыпуска.

На рис. 8 и 9. показано изменение во времени концентрации примеси на проектируемом водозаборе при $\Delta S = 0,4$ г/л. При поверхностном водозаборе концентрация достигает 0,75% от своего максимального зна-

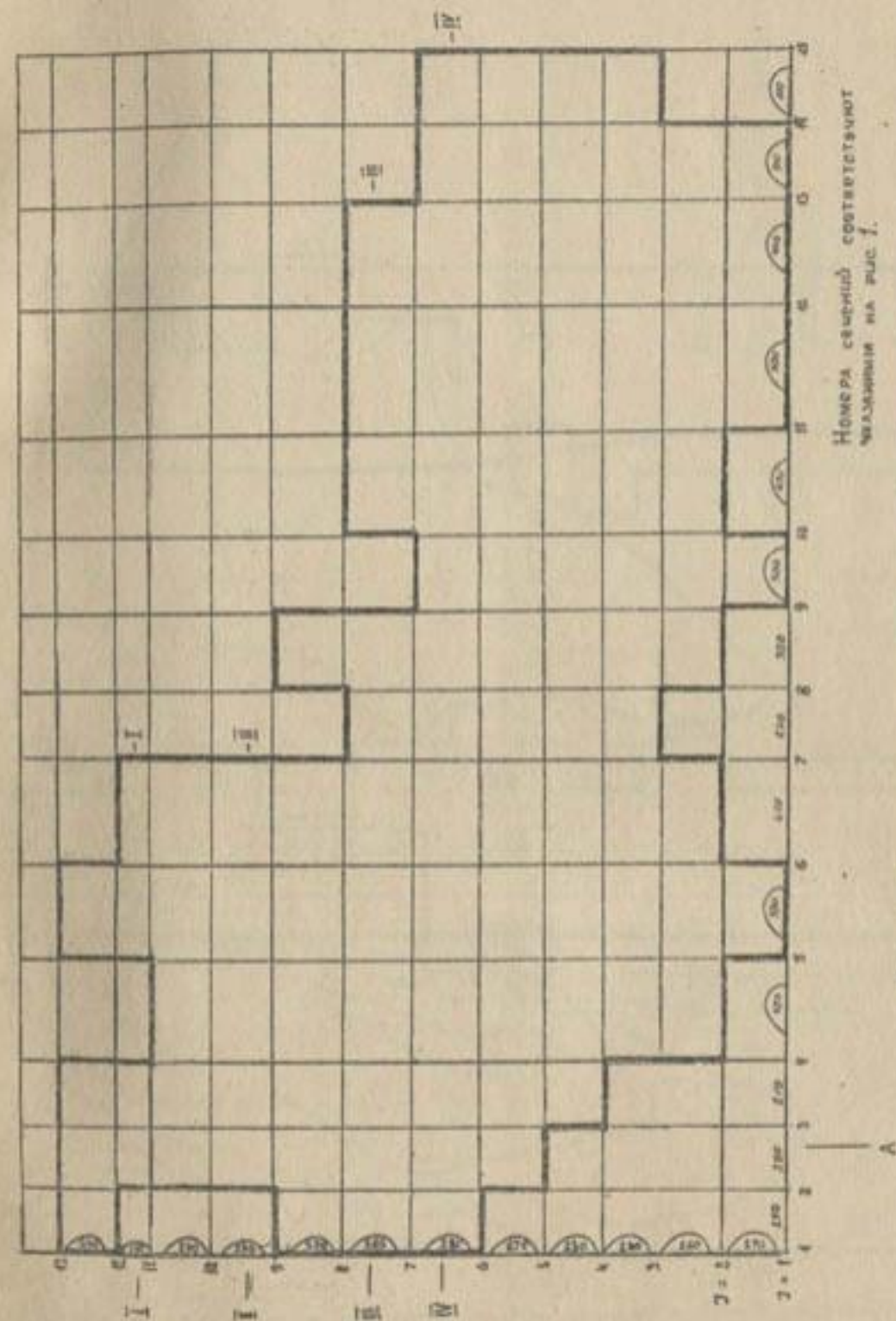
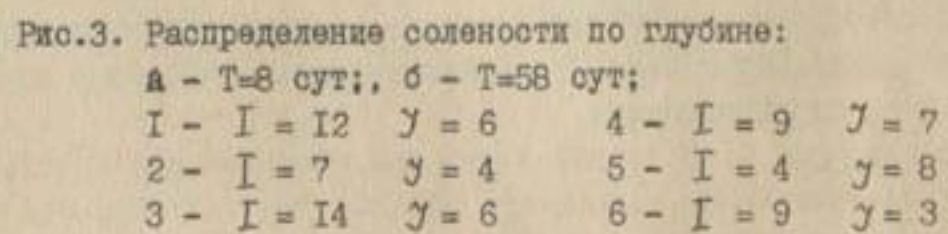


Рис. 4. Расчетная область для трехмерной задачи.

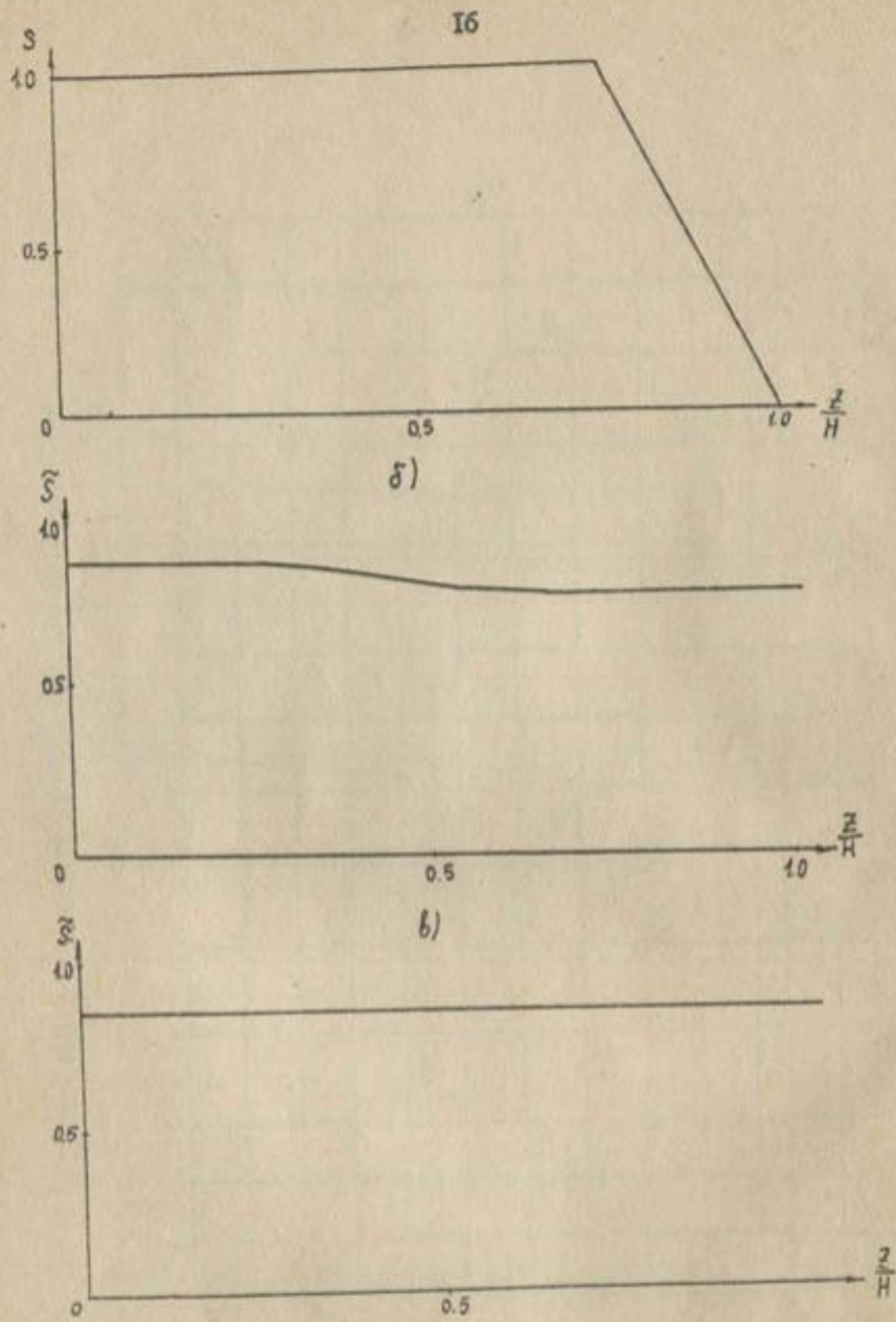


Рис. 5. Разрушение стратификации в результате ветрового воздействия: а - $T = 0$ сут; б - $T = 2$ сут; в - $T = 6$ сут.

425/56)

a)

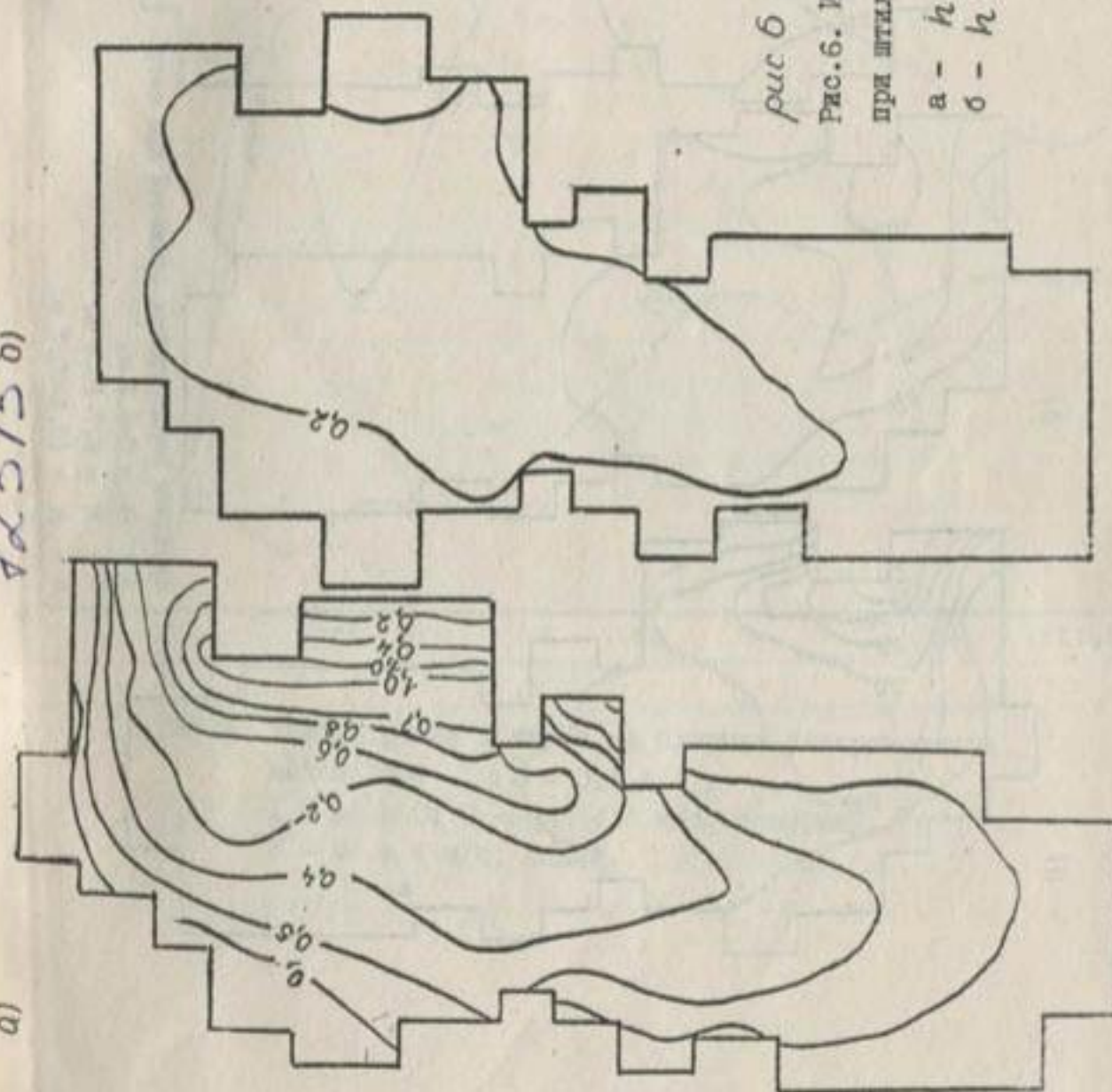


рис 6

Рис. 6. Изолинии концентрации при штиле:

а - $h = 0-6,7$ м;
б - $h = 6,7-13,4$ м.



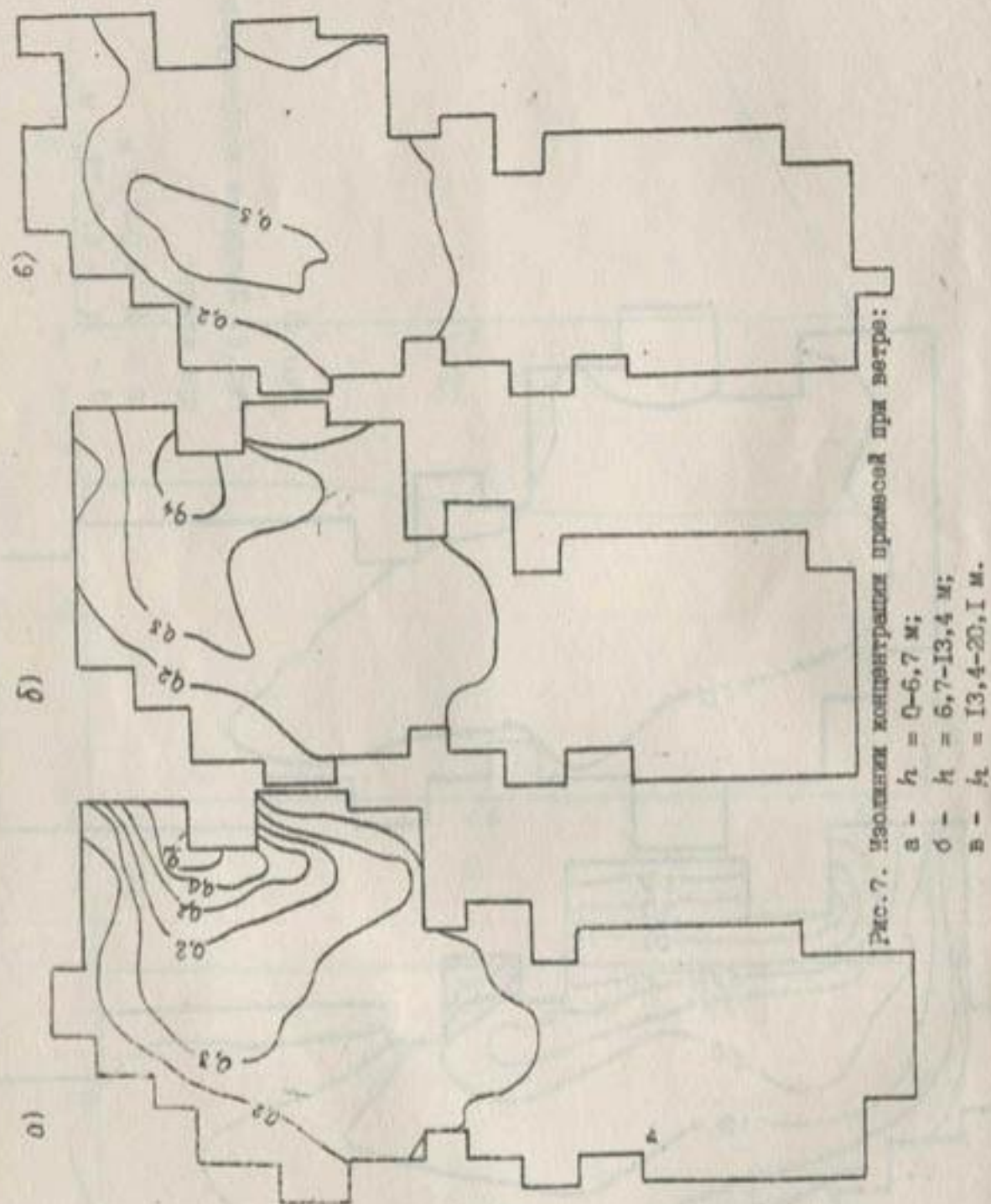


Рис. 7. Изолинии концентрации примесей при ветре:

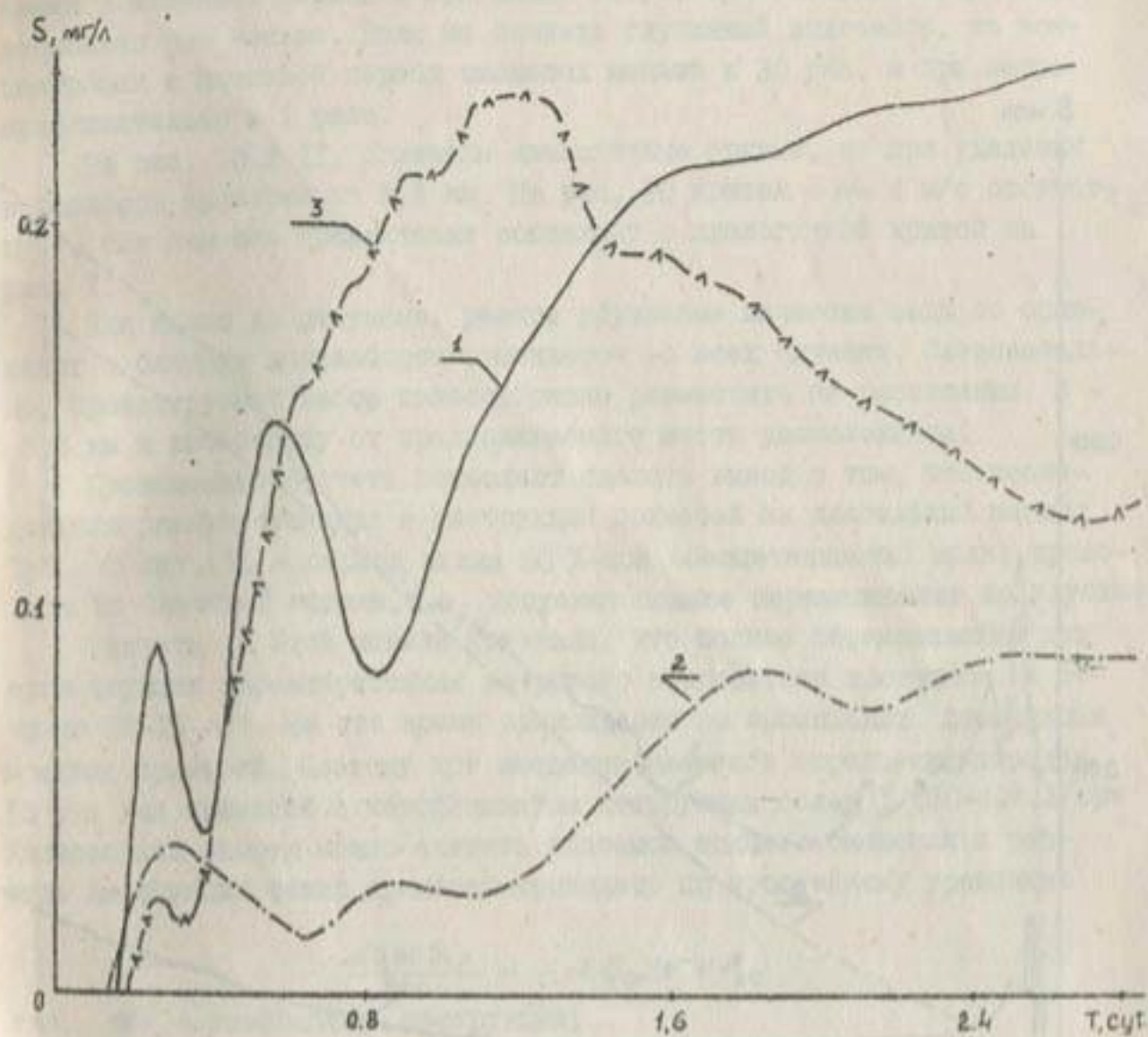
$$\begin{aligned} a - h_1 &= 0-6,7 \text{ м;} \\ \sigma - h_1 &= 6,7-13,4 \text{ м;} \\ a - h_2 &= 13,4-20,1 \text{ м.} \end{aligned}$$


Рис.8. Концентрация примеси на ближнем поверхностном водозаборе ($\Delta S = 0,4$ г/л):

1 - $W = 0$; 2 - $W = 4$ м/с, северный;
3 - $W = 4$ м/с, южный.

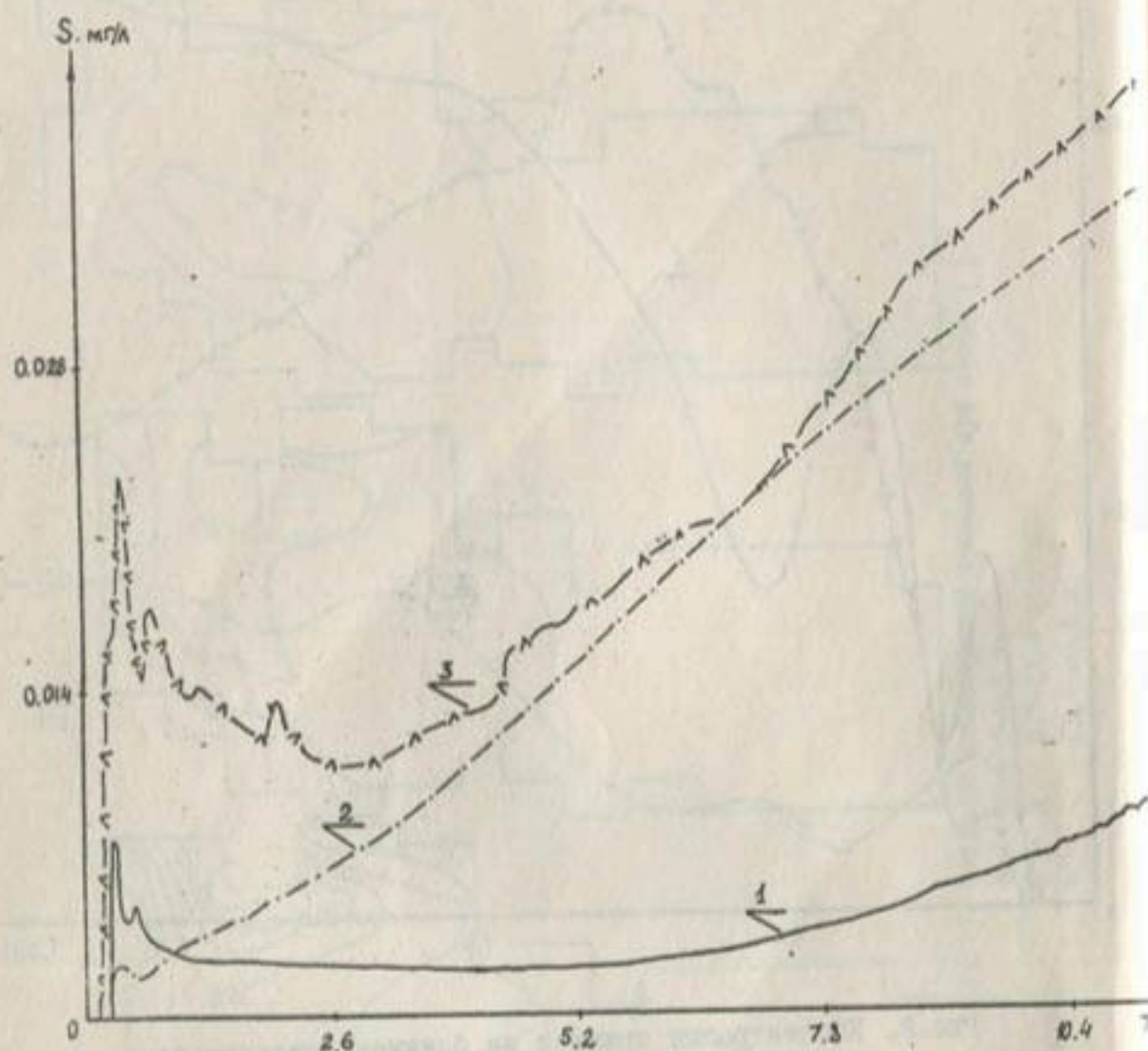


Рис.9. Концентрация примеси на ближнем глубинном водозаборе ($\Delta S = 0,4$ г/л):
 1 - $W = 0$; 2 - $W = 4$ м/с, северный;
 3 - $W = 4$ м/с, южный.

чения в штилевой период и при южном ветре, при северном ветре она в несколько раз меньше. Если же сделать глубинный водозабор, то концентрация в штилевой период окажется меньше в 30 раз, а при ветре приблизительно в 2 раза.

На рис. 10 и 11. показаны аналогичные кривые, но при удалении водозабора примерно на 3,5 км. На рис. 10 кривая с $W = 4$ м/с отсутствует, так как она практически совпадает с аналогичной кривой на рис. 11.

Как видно из рисунков, резкое улучшение качества воды по сравнению с ближним водозабором отмечается во всех случаях. Следовательно, проектируемый забор целесообразно разместить на расстоянии 3 - 3,5 км к юго-западу от предполагаемого места расположения.

Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что исследования распространения и деструкции примесей на длительный период $T > T_{ш} + 3$ сут. ($T_{ш}$ - период штиля 50 %-ной обеспеченности) можно проводить по плановой модели, т.е. допуская полное перемешивание по глубине.

Расчеты по этой модели показали, что полное перемешивание при существующих характеристиках ветрового воздействия **наступает** в течение 10-15 сут. За это время практически не происходит деструкции вредных примесей. Поэтому при введении масштаба осреднения порядка 15 сут для примесей с коэффициентом деструкции более $1/(30-40)$, 1/сут Капарасский водоем можно считать водоемом полного смешения и расчеты деструкции таких примесей проводить по простейшему уравнению

$$\frac{dS W S_{cp}}{dt} = -\alpha S_{cp} W + F_{uc},$$

где α - коэффициент деструкции;

F_{uc} - внешний источник примеси;

S_{cp} - средняя концентрация примеси при временном интервале не менее 15 сут.

При рассмотрении распространения залповых выбросов примеси в масштабе времени менее 15, но не более 5 сут можно применять уравнения плановой задачи, а в масштабе менее 5 сут трехмерную модель.

При этом каждый конкретный случай следует рассчитывать индивидуально.

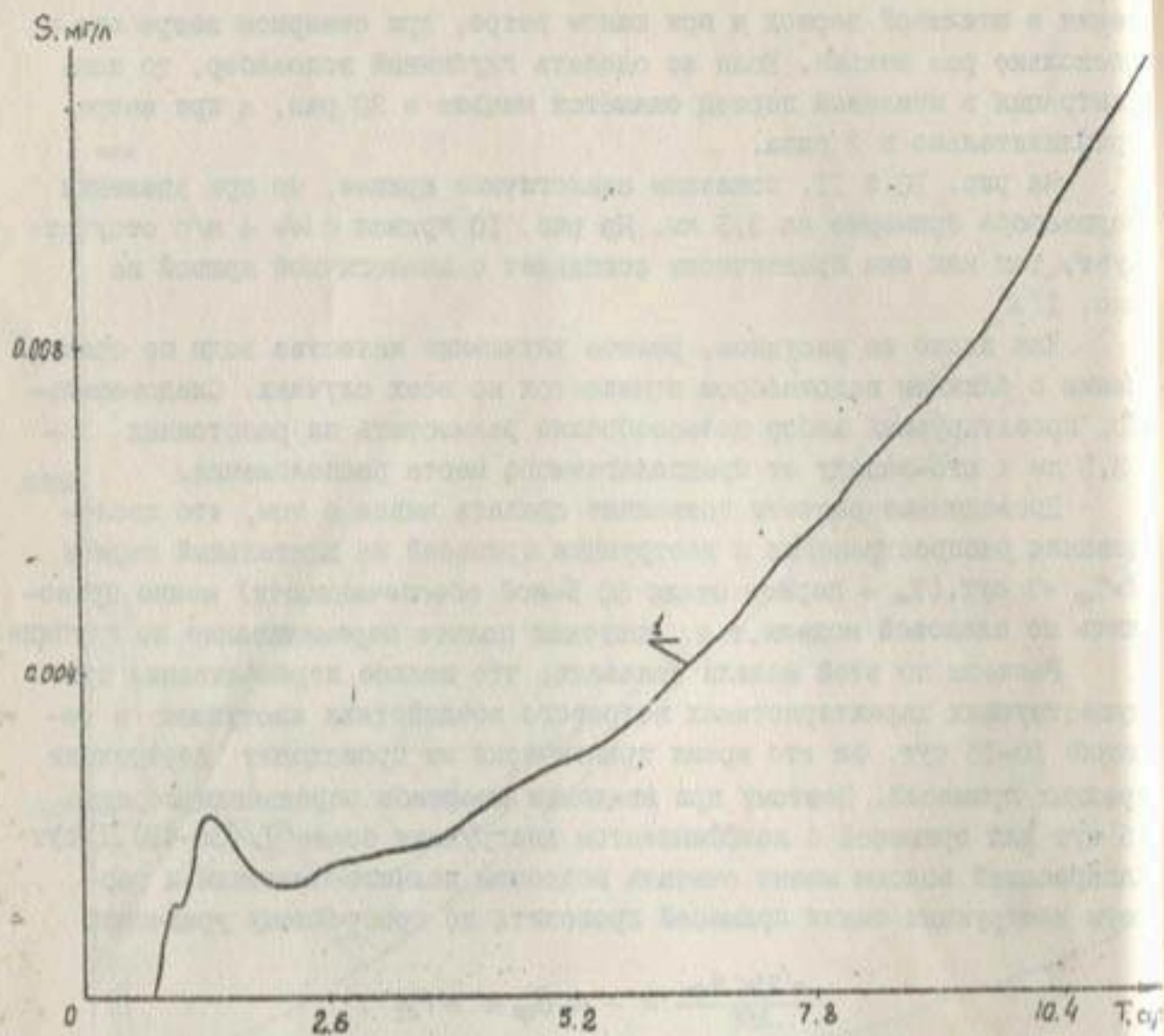


Рис. IО. Концентрация примеси на дальнем глубинном водозаборе ($\Delta S = 0,4$ г/л): 1 - $W = 0$.

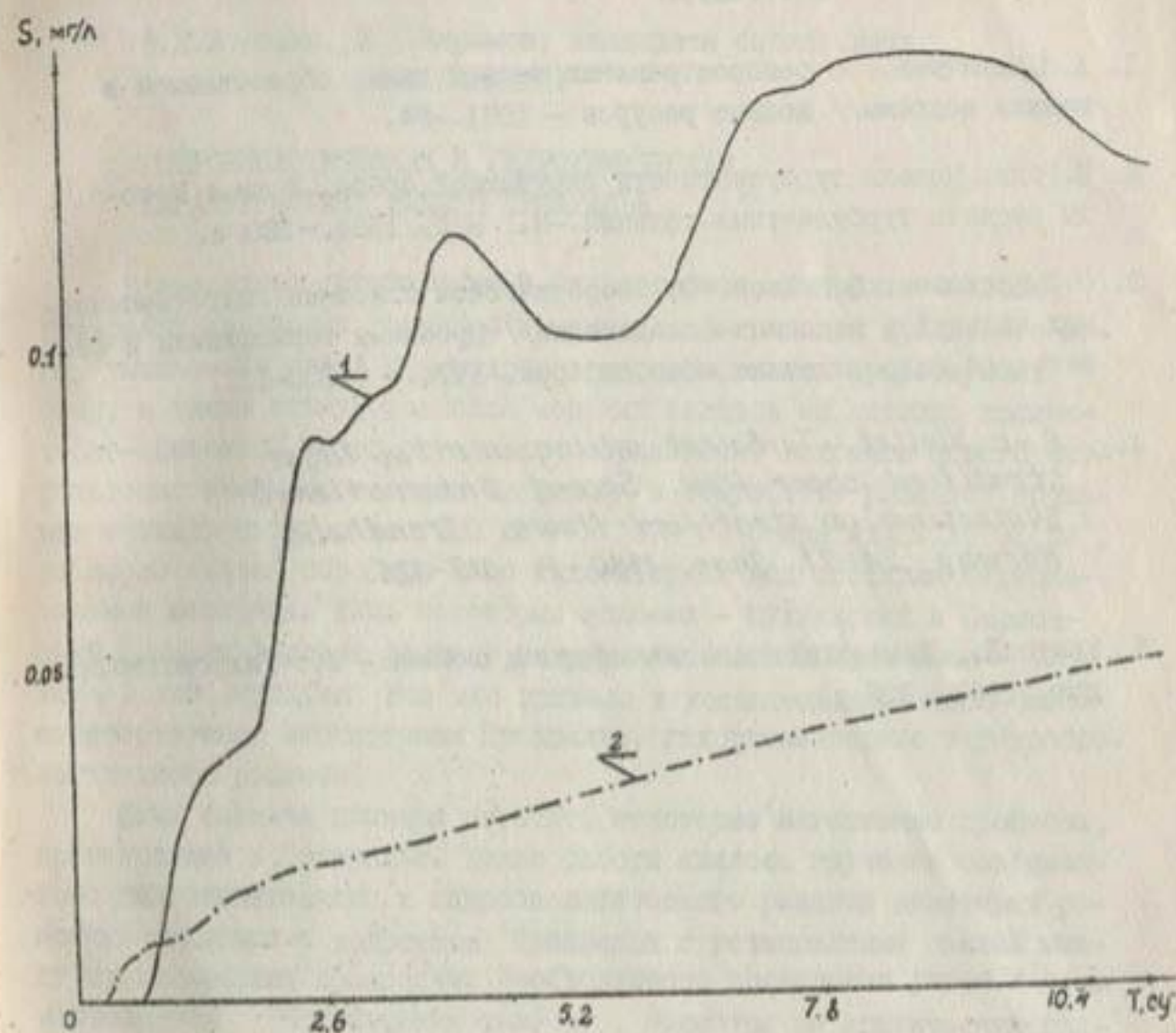


Рис. II. Концентрация примеси на дальнем поверхностном водозаборе ($\Delta S = 0,4$ г/л):
1 - $W = 0$; 2 - $W = 4$ м/с, северный.

Литература

1. А.Н.Милитеев. О распространении теплой воды, сбрасываемой в мелкие водоемы// Водные ресурсы - 1981.-№4.
2. В.Роди. Модели турбулентности окружающей среды. В кн.: Методы расчета турбулентных течений.-М.: Мир, 1984.-280 с.
3. О.Ф.Васильев, В.И.Квон. О теоретическом описании гидротермических явлений в водоемах-охладителях// Проблемы теплофизики и физической гидродинамики.-Новосибирск, 1974.- С.100-111.
4. P.-t. Violet. *Turbulent mixing in a two layer stratified shear flow. Second International Symposium on stratified flows. Trondheim, Norway, 24-27. June, 1980 - P. 315-325.*
5. Краус В.Б. Взаимодействие атмосферы и океана.- Л.: Гидрометеоиздат, 1967.-326 с.

В.Е.Вородин, Б.К.Каримов, кандидаты биол. наук
(НПО САНИИРИ)

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЮЖНОГО ПРИАРАЛЬЯ

В последнее десятилетие в гидрографическом облике южного Приаралья произошли коренные изменения. Деграация Аральского моря, уменьшение стока р.Амударьи и переход многих существующих озер, а также отпущенных морских заливов на питание коллекторно-дренажной водой обусловили образование водоемов нового антропогенно измененного типа. Например, в результате развития орошения площадь оз.Судочье (330 км²) в 1973 г. сократилась до 96 км², но после начала сброса в него коллекторных вод достигла первоначальной величины. Лишь некоторые водоемы - Муинакский и Сарыбаский (бывшие морские заливы), Междуреченское водохранилище - питаются водой Амударьи. Все это привело к установлению новых, ранее несвойственных экосистемам Приаралья, гидрохимического и гидробиологического режимов.

Нами сделана попытка осветить некоторые негативные процессы, происходящие в Приаралье. Целью работы явилось изучение современного гидрохимического и гидробиологического режимов некоторых основных водоемов и водотоков Приаралья и установление связей между происходящими процессами. Необходимость проведения работ в этом направлении обусловлена тем, что, несмотря на критическую гидроэкологическую ситуацию в регионе, углубленные исследования, охватывающие изменения в биотических составляющих гидроэкосистем, не проводились. Имеющиеся единичные работы не позволяют рассмотреть проблему в целом из-за узости масштабов исследуемых объектов и процессов [1, 2 и др.], к тому же многие авторы оперируют устаревшими данными.

В ходе экспедиционных работ, проводимых в 1988-1989 гг., исследованиями были охвачены наиболее крупные водоемы: речного питания - Междуреченское водохранилище, Муинакский и Сарыбаский заливы, коллекторного питания - залив Джилтырбас, озера Судочье и Каратерень, коллекторы КС-1; КС-3 и Аральское море. Гидрохимические анализы проводили по общепринятым методикам [3]. Продукцию фитопланктона и деструкцию органического вещества определяли скляночным методом [4].

Был проведен подробный количественный анализ фитопланктонного сообщества (без пико- и тонкопоярковой нанногрупп) и качественный анализ всех отделов учитываемых водорослей, за исключением трудно-распознаваемой части диатомовых, требующий изготовления постоянных препаратов. Взяты качественные пробы фитобентоса и на некоторых станциях пробы фитоперифитона. Был собран качественный, а на отдельных станциях количественный материал по мезо- и макрозоопланктону и зообентосу.

Пробы фитопланктона концентрированы методом одноступенчатой обратной фильтрации через ядерные фильтры [5; 6] с диаметром пор 1 мкм, фиксированы 1 %-ным формалином. Подсчет проводили в углубленной камере Фукс-Розенталя, просматривая объем $8 \cdot 10^{-3}$ мл, при увеличении X140. К сожалению, мы не располагали счетной камерой большего объема. В некоторых случаях при определении использовали увеличение X280. Биомассу водорослей рассчитывали по геометрическому подобию, за исключением диатомовых с диаметром клеток, превышающим 10 мкм, к которым применен метод, учитывающий сильную неравномерность распределения концентрации органического вещества [7,8]. Для расчета биомассы, выраженной в содержании углерода, использовали коэффициент 0,11 для всех групп и 0,13 - для толстопанцирных пирофитовых [7,8,9].

Зоопланктон собирали сеткой джиди (столом воды от определенного горизонта) или процеживали через сито 100-200 л воды с поверхности. Размер ячеек равнялся приблизительно 100 мкм. Учет вели в камере Гояева. Зообентос отбирали стандартным дночерпателем, процеживали через металлические сита с диаметром отверстий 1000 и 100 мкм. Качественный материал по фитобентосу, охвативший как донную биопленку над илом, так и твердые субстраты (т.е. собственно фитоперифитов), собирали методом соскабливания.

Результаты гидрохимических анализов приведены в табл. 1 и 2.

Величина плотного остатка исследованных водоемов колеблется в широких пределах - от 1,14 до 18,53 г/л, а в Аральском море составляет 35,78 г/л. Преобладают сульфаты и хлориды, среди катионов - ионы натрия. Все водоемы имеют повышенную жесткость.

Величина электропроводности пропорциональна уровню минерализации. pH воды слабощелочная (7,2-8,6). Прозрачность воды в различных водоемах колебалась от 0,43 до 1,20 м (табл.2). Не останавливаясь подробно на содержании таблицы, отметим лишь, что по разным показателям [10] вода исследуемых водоемов относится к разным трофо-сапробным

Таблица 1

Плотный остаток и содержание главных ионов в воде водоемов и водотоков
Приаралы

Место взятия проб	Дата взятия	Плотный остаток, г/л	Содержание, г/л					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Общая жесткость
			CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Муйнакский залив	01- 1988	4,72	н/о	0,366	1,03	1,85	0,435	0,201	0,809	38,3	
	07- 1989	1,85	н/о	0,122	0,447	0,724	0,122	0,095	0,363	13,9	
	"-	6,35	н/о	0,171	1,26	2,58	0,485	0,284	1,02	47,6	
	09- 1989	1,55	н/о	0,146	1,00	0,601	0,088	0,095	0,195	12,2	
	"-	9,57	н/о	0,122	3,15	4,38	0,771	0,566	0,106	85,0	
Залив Джилтырбас	11- 1988	5,65	н/о	0,183	1,99	2,07	0,244	0,331	1,47	38,4	
	07- 1989	18,53	н/о	0,207	6,30	7,16	0,862	0,961	4,79	122,0	
	09- 1989	19,99	н/о	0,268	7,94	6,90	0,876	1,13	3,35	136,0	
Оз.Судочье, Урга	11- 1988	15,54	0,036	0,366	3,98	5,76	0,661	1,01	2,84	116,0	
	07- 1989	11,62	н/о	0,220	4,47	5,68	0,713	0,752	3,46	97,5	
	09- 1989	13,61	н/о	0,146	3,98	4,98	0,681	0,851	2,28	104,0	
Оз.Каратерень	07- 1989	13,94	0,024	0,110	3,98	6,01	0,633	0,716	3,50	90,5	
	09- 1989	11,62	н/о	0,256	5,62	3,31	0,481	0,632	1,07	76,0	
Залив Сарыбас	07- 1989	3,86	н/о	0,183	0,562	1,69	0,315	0,173	0,622	29,9	
	09- 1989	7,11	н/о	0,159	1,99	3,11	0,509	0,421	0,465	60,0	
Междуреч. водохр.	07- 1989	1,69	н/о	0,122	0,398	0,667	0,102	0,085	0,345	12,1	
	"-	2,03	н/о	0,171	0,447	0,749	0,088	0,124	0,377	14,6	
	у катастроф. сброса										

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
09-1989	1,92	н/о	0,159	0,502	0,823	0,112	0,114	0,206	15,0	
01-1988	2,30	н/о	н/о	0,792	0,749	0,160	0,105	0,488	16,7	
11-1988	2,17	н/о	0,207	0,447	0,823	0,136	0,126	0,366	17,2	
Оз. Сарыкамыш										
эстуария к. Дарьялык	11,80	н/о	0,171	3,54	3,65	0,581	0,542	2,42	73,6	
юго-западный берег	12,33	н/о	0,171	3,54	3,82	0,597	0,579	2,41	77,4	
КС-1, среднее течение	4,26	н/о	н/о	1,49	1,29	0,285	0,213	0,860	31,7	
нижнее течение	1,89	н/о	0,195	0,447	0,831	0,108	0,124	0,402	15,6	
устье	2,67	н/о	0,207	0,562	1,17	0,168	0,160	0,275	21,6	
КС-3, эстуария	4,56	н/о	0,122	1,13	1,69	0,206	0,237	0,908	29,8	
	5,60	н/о	0,281	2,51	1,60	0,204	0,175	0,606	24,6	
Устье Амударья	1,14	н/о	0,159	0,178	0,438	0,072	0,083	0,145	10,4	
Аральск. море, Акпетки	35,78	0,024	0,244	11,34	10,12	0,721	1,87	7,95	190,0	

Гидрохимические показатели водоемов и водотоков Приаралья, мг/л

Место взятия пробы	Дата взятия пробы	Азот аммонийный	Нитраты	Фосфаты	Валовый азот	Земельно-поверхностная вода	рН	Мутность	Прозрачность	Длительность
Мушкетерский канал	07.1989	0,45	н/о	8,70	0,110	0,19	8,70	1,2	8,4	27,0
У входа	09.1989	1,14	н/о	49,60	0,230	0,30	4,00	7,6	8,2	29,0
У дельты	09.1989	1,43	н/о	3,90	0,160	0,33	8,00	0,7	8,2	14,0
У дельты	09.1989	11,40	н/о	13,60	0,127	0,53	2,10	10,6	8,1	7,0
Залив Бейнеу	07.1988	0,18	н/о	8,70	0,250	0,10	6,50	-	-	-
У дельты	07.1989	1,14	н/о	31,00	0,163	0,16	5,20	21,7	8,0	23,0
Оз. Сулейманов	09.1989	1,80	н/о	21,70	0,360	0,18	3,30	22,5	7,7	9,0
У дельты	11.1988	3,85	н/о	35,00	0,900	0,13	5,20	-	-	-
Оз. Каратерень	07.1989	2,10	н/о	24,80	0,168	0,21	5,10	18,9	7,7	47,0
У дельты	09.1989	0,90	н/о	17,40	0,540	0,22	4,00	18,2	7,2	-
У дельты	07.1989	1,80	н/о	26,00	0,160	0,19	1,30	17,7	8,6	64,0
У дельты	09.1989	1,14	н/о	21,70	0,470	0,39	3,30	11,0	7,6	-
У дельты	07.1989	0,36	н/о	6,80	0,132	0,21	3,50	3,7	8,5	31,0
У дельты	09.1989	0,64	н/о	8,70	0,164	0,34	2,20	7,3	7,5	12,0
Макуратское водохранилище, вход	07.1989	0,45	н/о	5,60	0,132	0,23	5,10	1,1	8,5	27,0
У катастроф. сброса	09.1989	0,29	н/о	8,10	0,155	0,23	5,60	1,4	8,4	30,0
Дельта, у дельты	01.1988	1,80	н/о	34,70	0,310	0,39	6,50	1,5	8,0	-
У дельты	11.1988	0,18	н/о	26,55	0,164	0,12	12,80	-	-	-
КС-1, нижнее течение	11.1988	1,50	0,052	9,50	0,146	0,08	8,10	-	-	-
Устье	07.1989	1,30	0,046	15,50	0,135	0,55	12,30	3,2	8,4	77,0
Устье	07.1989	2,30	н/о	11,20	0,100	0,23	11,40	7,5	8,6	-
Аральское море	09.1989	2,40	н/о	8,10	0,360	0,32	10,30	3,4	7,9	6,0
Устье	11.1989	11,35	0,054	68,00	0,220	0,10	1,30	-	-	-

типам. Наиболее полную информацию можно получить путем сопоставления качественных характеристик воды с гидробиологическими показателями.

Всего по предварительному качественному анализу, проведенному с приблизительной оценкой, диатомовых было отмечено более 40, определено с точностью до вида или варитета 28 таксонов. Обнаруженные виды относятся к пяти отделам: *Cyanophyta* (15 видов и варитетов), *Bacillariophyta* (более 12), *Chlorophyta* (9), *Pyrrophyta* (3), *Euglenophyta* (1). На всех станциях были представлены диатомовые и сине-зеленые, причем последние в большинстве случаев преобладали в качественном и количественном отношении, в отличие от проточных и полупроточных вод бассейна Центрального Голодностепского канала и Восточно-Ариасайской системы озер, где на первом месте были диатомовые. Зеленые не встречались на станции 3 (водохранилище Джилтырбас). Повсеместно отмечен массовый вид *Merismopedia punctata* (табл. 3). В табл. 3 приведены основные (по частоте встречаемости) виды, прочие, отмеченные менее, чем на трех станциях, сюда не вошли.

Оба массовых вида сине-зеленых не относятся к токсичным [11], но некоторые токсичные виды сине-зеленых (*Microcystis aeruginosa*, *Anabaena variabilis*, *Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon flos-aqua*) встречаются в водоемах Южного Приаралья. Они представляют потенциальную угрозу, так как способны к массовому разведению.

В усохших, но сохранивших свою морфологическую и биоценологическую цельность озерах, таких, как Каратерень и Судочье, мы отметили наибольшее количество видов (соответственно 25 и 20). Далее по количеству видов следуют отшнуровавшиеся заливы Арала с преимущественно канальным питанием – Муьнакский и Сарыбаский, на последнем месте – с коллекторным питанием – Джилтырбаский. Дегградация фитопланктонного сообщества от антропогенного загрязнения хорошо прослеживается на примере заливов, отшнуровавшихся в результате усыхания Аральского моря. Так, в конце 60-х годов А.Е. Ельмуратов [15] отметил летом в Сарыбаском заливе приблизительно 300 видов и разновидностей водорослей, как планктонных (40%), так и обрастателей (60%), в то время как мы обнаружили там лишь 20 таксонов фитопланктона на уровне вида и варитета. В заливе Джилтырбас соотношение данных 20-летней давности и наших, соответственно, 172 и 10 таксонов, в Муьнакском заливе – 217 и 18. Видовой состав фитопланктона сократился в среднем в 6 раз. Выявление закономерностей сниже-

Таблица 3

Встречаемость видов фитопланктона по станциям, %

В и д	Встречаемость
<i>Nitzschia sigma</i>	86
<i>Navicula cryptocephala</i>	71
пенаты (spp)	71
<i>Coscinodiscus sp</i>	43
<i>Actinocyclus ehrenbergii</i>	43
<i>Melosira granulata</i>	57
<i>Merismopedia punctata</i>	100
<i>M. tenuissima</i>	57
<i>M. elegans</i>	43
<i>Gloeocapsa minuta</i>	57
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	57
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	57
<i>S. acuminatus</i>	43
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	57
<i>Binuclearia lauterbornii V. L.</i>	43

(названия приводятся по / 12, 13, 14 /)

ния числа таксонов и нахождения средних спорно и затруднительно, поскольку условия в нынешних "заливах" – самостоятельных мелководных слабопроточных водоемах – сильно различаются по характеру питания, химическому составу, объему стока и, следовательно, эти водоемы подвержены сильным колебаниям гидролого-гидрохимического режима. Следует отметить, что в отшнуровавшихся заливах мы не обнаружили характерных для прежнего Арала неритических и эвригалинных морских видов.

Численность планктонных водорослей, для измерения которых подсчитывали каждую встреченную клетку, колебалась на отдельных станциях от 10 (водохранилище Джилтырбас) до 6900 млн кл/л (водохранилище Сарыбас). Численностью отдельных клеток в учитываемых колониальных индивидах при общем учете таких видов, как *Dictiosphaerium*, *Gomphosphaeria*, *Merismopedia* и др., можно было пренебречь. Число клеток в колониальных индивидах было значительным для *Nodularia* (несколько сотен), а также для *Anabaena*, *Abhanizomenon* (до нескольких десятков). Но только в случае массового развития диктиосферума (водохранилище Сарыбас) – до 320 млн. колоний в литре – число клеток в колонии следовало оговаривать особо.

Биомасса колебалась на отдельных станциях от 1,8 в Джилтырбасе до 1090 мг/л в Сарыбасе (табл.4). Содержание углерода в фитопланктоне составило, соответственно, 0,1 – 110 мг/л. В большинстве случаев были превышены предельные концентрации водорослей по рыболовным нормативам. Цю бурное цветение.

На глубоких участках (Междуречье) в верхнем квазиоднородном слое отмечено незначительное понижение биомассы глубже 1 м. В слое максимального температурного градиента увеличения биомассы не наблюдалось (возможно, из-за неточности установления температурных границ и отбора батометром, размеры которого сопоставимы с толщиной слоя скачка). Глубже слоя скачка происходит заметное падение биомассы (в 2-3 раза). Надо отметить, что термоклин находится глубже нижней границы эвфотической зоны.

Как видно из табл.4, сильное цветение сине-зеленых и зеленых водорослей совпадает с наименьшей проточностью, наибольшей мелководностью и, следовательно, самым неблагоприятным для рыб кислородным и прочими гидрохимическими режимами. Озеро Каратерень и водохранилище Сарыбас – самые мелководные и заросшие густо по всей площади полупогруженными и погруженными макрофитами. К июлю 1989 г. рыбаки

Распределение биомассы отделов планктонных водорослей по водоемам, мг/л

В о д о е м ы	О т д е л ы				
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Bacillariophyta</i>	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pyrrophyta</i>	<i>Bacero</i>
Водохранилище Муйнакский залив					
у выхода	15 ^{жж}	33	19	32	240
Водохранилище Джилтырбас (север)	0,6	16	–	–	18
Водохранилище Междуречье					
у дамбы	140	210	12	54	406
у катастрофического сброса	3,5	15	3,8	8,5	31
Оз. Судочье (северо-восток)	4,2	42	32	–	79
Оз. Каратерень (северо-восток)	320	290	270	–	610
Водохранилище Сарыбас (юго-восток)	170	11	910	–	1090
для всех водоемов:					
$\bar{X}$ –среднее арифметическое значение биомассы	117	87	165	32	354
$S\bar{X}$ –стандартная ошибка репрезентативности среднего арифметического	4,6	4,3	1,5	1,3	14,9
CV –коэффициент вариации	10,4	13,2	22,4	7,2	11,2
σ –среднее квадратическое отклонение ^{жжж}	12,1	11,5	37,0	2,3	39,5

ж-биомассой *Euglenophyta* можно пренебречь;

жж-точность количественных показателей до двух значащих цифр;

жжж-как мера рассеяния измеряемых величин вокруг математического ожидания.

покинули базу на побережье озера Каратерень, поскольку уловы упали практически до нуля, в Сарыбасе же лов рыбы не ведется. Цветение в озере Каратерень вызвано сине-зеленой колониальной водорослью *Gomphosphaeria lacustris*, а в Сарыбасе — ценобией сине-зеленой *Dictyosphaerium pulchellum*, достигшей максимальной, необычно большой биомассы — 910 мг/л. Наименьшее обилие фитопланктона наблюдали в Джилтырбасе — самом минерализованном из изучаемых водоемов.

В целом преобладают α и β — мезосапробные виды.

Отмечены 2 вида индикатора сапробности по Пантле-Букку: *Navicula cryptocephala* — показатель β - мезосапробности и *Scenedesmus acuminatus* — 2 мезосапробности. Индекс сапробности равен 2,6.

Особо следует упомянуть качественную пробу фитопланктона из юго-западной части Аральского моря. К сожалению, удалось исследовать лишь прибрежные мелководья эпизодически отступившей полосы разливов. Основная акватория была труднодоступна. Часто встречался *Chaetoceros* sp., организм, свойственный сравнительно слабоэвтрофированным водам, неритическим районам. Значительное количество диатомовых и перидиниевых, редкие экземпляры сине-зеленых позволяют судить о том, что гидрологический и гидрохимический режимы Арала за исключением минерализации не претерпевает пока значительных изменений, связанных с эвтрофированием.

В фитобентосе и различных сообществах обрастателей повсеместно преобладают качественно и количественно пенаты. Особенно многочисленны роды *Navicula*, *Nitzschia*, *Gyrosigma*. За ними следуют сине-зеленые, такие, как *Spirulina*, *Cyanotrix*, *Anabaena*, *Oscillatoria*. Многочисленны и центрические диатомеи — *Coscinodiscus*, *Thalassiosira*, *Actinocyclus*. Распределение по водоемам основных групп довольно равномерное и однообразное.

В результате выборочной обработки проб с трех станций водохранилища Междуречье и озера Судочье отмечены 11 видов зоопланктона, из которых 9 встречались в Междуречье и 2 в Судочье. Чаще всего встречался вид *Ectocyclops phaleratus*, самый многочисленный — *Eucyclops*.

При незначительном таксономическом сходстве с Голодноостепскими водоемами (на 15 только 3 общих рода) количественный анализ показал, что в водоемах обоих районов очень незначительны концентрации зоопланктона — 100–1500 экз/м³ при биомассе порядка 70 мг/м³.

Мезозообентос также представлен очень бедно, как и зоопланктон. Проба из озера Судочье оказалась пустой, как и одна из проб водохранилища Междуречье. Наиболее многочислен в качественном и количественном отношении род *Ablabesmyia*, представленный видами *A. curticalca*

и *A. lentiginosa* в Междуречье и разливах коллектора КС-3.

Из функциональных характеристик сообществ нами исследованы первичная продукция фитопланктона и деструкция органического вещества. Результаты приведены на примере водохранилища Муйнакский залив (табл. 5). В соотношении валовой и чистой продукции и деструкции, а также в вертикальном распределении данной функции водорослей отклонений от ожидаемой нормы не наблюдается.

Таблица 5

Показатели первичной продукции и деструкции органического вещества в заливе Муйнак (у дамбы), мг О₂ (л.ч)

Глубина экспонирования, м	Продукция		Деструкция
	валовая	чистая	
0	0,062	0,040	0,022
0,5	0,066	0,057	0,009
1,5	0,055	0,002	0,053

Результаты таксономического и количественного изучения гидробионтов Южного Приаралья с учетом биоценотических и токсикологических изменений окружающей водной среды показали, что сообщества фитопланктона, зоопланктона и зообентоса деградировали (сравнение проводилось по литературным источникам [15]). Фитопланктон изменился по схеме общей сукцессии при условиях эвтрофирования, т.е. заметно уменьшилось количество видов (см. выше), чаще стали встречаться виды, свойственные водоемам с большей трофностью и сапробностью, возросли общая численность и биомасса. На примере зоопланктона и зообентоса заметно также упрощение структуры сообщества, при этом произошло обеднение таксономического состава и уменьшились количественные характеристики. В Аральском море, по предварительным данным, изменения пока не столь глубоки.

Список использованной литературы

1. Биологические ресурсы Приаралья. - Ташкент: ФАН, 1986. - 200 с.
2. Реакция лимнических систем на антропогенное воздействие (на примере Дауткульского водохранилища). - Ташкент: ФАН, 1987. - 136 с.
3. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. - Л.: Гидрометеоиздат, 1977. - 541 с.
4. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. - 240 с.
5. Сорокин Ю.И. Методы отбора количественных проб микропланктона. Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. - М.: Наука, 1983. - С.91-97.
6. Суханова И.И. Концентрирование планктона в пробе. - М.: Наука, 1983. - С.97-106.
7. Strathmann RR Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma Volume 11 Limnol Oceanogr. - 1967. - №1. - P.411-418.
8. Bermann T. Pollinger U. Annual and Seasonal variation of phytoplankton, Chlorophyll and photosynthesis in la Kinneret II Limnol, Oceanogr. - 1974. - №19. - P.31-53.
9. Smetacek V. Die Sukzession des phytoplankton in der westlichen Kieler Bucht - Kiel. - 1975. - P.34-41.
10. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов: ГОСТ 17.1.2.04-77. - М.: Изд-во стандартов, 1977. - 17 с.
11. Кондратьева Н.В., Коваленко О.В. Краткий определитель видов токсических сине-зеленых водорослей. - Киев: Наука, 1975. - 80 с.
12. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Сине-зеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. - М.: Советская наука, 1953. - Вып.2. - 651 с.
13. Pankow H., Kell V., Martens B. Algenflora der Ostsee. B. II - Jena: VEB. - 1976. - 493 p.
14. Зргашев А.З. Определитель протококковых водорослей Средней Азии. Т.1. - Ташкент: Фан, 1988. - 490 с.
15. Ельмуратов А.Е. Фитопланктон южной части Аральского моря. - Ташкент: ФАН, 1981. - 144 с.

Б.К.Каримов, канд.биол.наук
(НПО САНИИРИ)

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЭКОСИСТЕМ НИЗОВЬЕВ Р.СЫРДАРЬИ

В результате почти полного прекращения стока воды в низовья р.Сырдарьи в настоящее время многие придельтовые и пойменные водоемы высохли или обмелели, что привело к их деградации. Так, общая площадь озер в низовьях р.Сырдарьи в годы благоприятного гидрологического режима составила 1600 км², а уловы рыб в них достигали 10 тыс.т в год. Современная площадь оставшихся озер - 250 км², а уловы составляют всего 1-1,3 тыс.т. Обводняемость этих озер зависит от весьма непостоянных попусков воды по р.Сырдарье. В многоводные периоды по системе водоподводящих каналов вода р.Сырдарьи попадает в озера, так как река в районе поселка Карачалан перегорожена земляной дамбой. Таким образом, гидрологический и гидрохимический режимы этих водоемов целиком зависят от режима водности и качества воды р.Сырдарьи, а также внутриводоемных процессов. Поскольку вода р.Сырдарьи доходит до низовий в значительной степени минерализованной и загрязненной различными специфическими токсическими веществами, можно ожидать формирования неблагоприятной эколого-токсикологической ситуации в водоемах низовьев. В литературных источниках мы не нашли сведений о гидрохимическом и токсикологическом режимах этих водоемов.

В контексте вышесказанных положений возникла цель настоящей работы: изучить гидрохимический и токсикологический режимы водоемов низовьев р.Сырдарьи и дать научно обоснованную оценку современной эколого-токсикологической ситуации в этом регионе. Работа была выполнена в рамках темы "Прогноз экологических изменений низовий Сырдарьи с учетом дефицита воды и аридизаций", разработанной в САНИИРИ.

Для сбора фактического материала нами в летне-осенний период 1989 г. была организована комплексная экспедиция, состоящая из сотрудников САНИИРИ и ТашГУ им.Ленина.

Объектами исследований были выбраны наиболее типичные и имеющие важное рыбохозяйственное значение озера - Камышлыбаш, Дыйколь, Карачалан и участок р.Сырдарьи у земляной плотины "Аклак".

Наиболее крупное озеро в низовьях р.Сырдарьи — Камышлибаш, площадь которого равна 185 км². Озеро имеет 3 больших залива: Чумышколь и Такрык с южной стороны и Сыраколь с северо-западной. Питание озера осуществляется из оз.Ляйколь посредством канала, который, в свою очередь, питается из Сырдарьи. Кроме этого, в озеро сбрасываются КДВ Казалинского правобережного массива в объеме 50 млн.м³. Дно озера в открытых местах сложено мелкодисперсным желто-серым илом без запаха, а в заросших мелководных участках со слабым сероводородным запахом.

Западные и восточные плесы озера мелководны и сильно заросли тростником и погруженной растительностью, в восточной части подводные растения образуют сплошные заросли, а тростник — островки. В то же время центральные плесы и заливы совершенно лишены надводных растений, в том числе и в прибрежной части. Погруженные растения тоже развиты слабо, местами встречаются чаланг и хара.

Ихтиофауна насчитывает более 16 видов, основные промысловые — вобла, судак, лещ и сазан. Уловы рыб колебались от 954 т в 1982 г. до 539 т в 1988 г.

Площадь озера Ляйколь, расположенного западнее оз.Камышлибаш, — 16 км², максимальная глубина 3–5 м. Местами встречаются слабые заросли тростника и погруженных растений. Грунт дна — песчанистый серый ил со слабым запахом сероводорода.

Озеро Карачалан находится у поселка Карачалан, в 0,5 км от плотины Аклак, питается водой из Сырдарьи, подаваемой через канал. Площадь озера — 2,5 км². Озеро неглубокое, в 50 м от берега глубина составляет 0,5 м, грунт дна черный песчанистый ил с запахом сероводорода, что свидетельствует о преобладании восстановительных процессов. По берегам растут тростник и погруженные растения. Зимой озеро замерзает и, по свидетельству местных рыбаков, каждый год зимой наблюдается замор рыб. Заполнение озера водой происходит, в основном, осенью, так как в это время в реке воды бывает много. С севера и востока озеро оборудовано шлюзами для спуска воды в озера Домалак и Аймаколь.

Сбор и анализ качественных показателей водной среды остаточных количеств пестицидов в живых объектах (рыбах, растениях), воде и грунтах выполняли по общепринятым методикам [1,2]. Содержание ионов натрия и калия определяли методом пламенной фотометрии [3].

Исследования проводили на экосистемном уровне с учетом био-

геохимической миграции загрязняющих веществ в компонентах гидроэкосистем: воде, донных отложениях и рыбах [4]. Ниже приводим результаты этих исследований.

Для классификации природных вод по минерализации предложено много вариантов [5], однако к условиям Средней Азии на современном этапе, когда минерализация играет такую важную роль в народном хозяйстве, лучше всего подходит классификация Е.В.Посохова [6]. Согласно данной классификации, воды озера Ляйколь, Камышлибаш и концевая часть озера Карачалан относятся к сильносолоноватым (5–10 г/л) и имеют приблизительно одинаковую минерализацию около 7 г/л, что не превышает предела критической солености для пресноводной фауны и флоры [7].

Воды в средней части озера Карачалан и р.Сырдарьи имеют минерализацию около 2 г/л и относятся к слабосолоноватым (1–3 г/л). Резкое повышение минерализации в концевой части озера Карачалан объясняется свежим затоплением засоленных земель вокруг озера в период его наполнения, что совпадало с отбором пробы (табл.1).

По ионному составу, согласно классификации О.А.Алекина [8], вода всех исследованных водоемов относится к сульфатному классу, группе натрия типу II, имеет очень высокую жесткость. Интересно, что в пробах воды из оз.Камышлибаш встречаются карбонатные ионы до 0,024 г/л.

Все исследованные водоемы, включая Сырдарью, имели слабощелочную pH — 8,7–8,8. Наиболее высокую мутность имела вода из р.Сырдарьи — III мг/л. В озерах по мере удаления от мест поступления воды мутность уменьшается. Электропроводность воды пропорциональна повышению уровня минерализации.

В режиме биогенных веществ (табл.2) наблюдаются следующие тенденции. В местах с наибольшим водообменом концентрация ионов аммония выше, чем на холостатических участках. Например, в открытой части оз. Камышлибаш, у пос.Косжар, концентрация аммония равна 5,20 мг/л, в заливе Чумышколь — 1,80, а в ещё более отдаленной части озера — у ст.Камышлибаш — 1,60 мг/л. Сходная картина наблюдается в оз.Карачалан. Следует отметить, что концентрация ионов аммония во всех озерах превышает рыбохозяйственный ЦДК, а за исключением двух случаев и санитарно-гигиенический ЦДК.

Содержание нитратных ионов везде находилось в пределах нормы. Наиболее высокая концентрация нитратов отмечалась в оз.Ляйколь, а наименьшая в концевой части оз.Камышлибаш. По мере удаления от

Таблица 1

Минерализация и ионный состав вод в водоемах низовьев Сырдарьи, г/л

Место взятия проб	Плотный остаток	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Символы
Лайколь	7,94	0,0	0,207	0,890	3,57	0,305	0,460	2,40	0,007	S ^{Na 53} _{117,74}
оз. Камышлыбаш, зал. Чумышколь	7,05	0,018	0,195	0,793	3,37	0,297	0,441	2,40	0,007	S ^{Na 51} _{117,42}
оз. Камышлыбаш, пос. Косжар	6,91	0,024	0,183	0,562	3,49	0,303	0,440	2,40	0,007	S ^{Na 51} _{117,32}
оз. Камышлыбаш, ст. Камышлыбаш	6,83	0,024	0,183	0,793	3,51	0,301	0,454	2,20	0,007	S ^{Na 52} _{117,38}
оз. Карагалан, центр. участок	2,22	0,0	0,159	0,251	1,12	0,122	0,140	0,600	0,006	S ^{Na 48} _{112,32}
оз. Карачалан, концевая часть	6,88	0,0	0,146	0,890	3,03	0,309	0,369	1,80	0,005	S ^{Na 46} _{116,48}
р. Сырдарья, плотина	1,94	0,0	0,171	0,199	0,905	0,108	0,111	0,400	0,005	S ^{Na 45} _{111,81}

Таблица 2

Физико-химические показатели и содержание биогенных веществ в водоемах низовьев Сырдарьи

Место взятия проб	pH	Температура °C	Мутность, мг/л	Электропроводность, мсм/см	Аммоний, мг/л	Нитриты, мг/л	Нитраты, мг/л	Фосфор общий, мг/л	Железо общее, мг/л	Двуокись кремния, мг/л
Лайколь	8,7	18,2	100	5,5	5,70	0,00	8,10	0,160	0,14	8,5
оз. Камышлыбаш, зал. Чумышколь	8,8	18,2	92	5,5	1,80	0,00	2,20	0,160	0,18	13,0
оз. Камышлыбаш, пос. Косжар	-	-	-	-	5,20	0,00	6,20	0,135	0,19	13,5
оз. Камышлыбаш, ст. Камышлыбаш	8,8	18,1	86	5,7	1,60	0,00	1,70	0,110	0,13	9,8
оз. Карачалан, центр. участок	8,8	17,8	109	0,7	5,70	0,00	4,30	0,120	0,34	7,6
оз. Карачалан, концевая часть	8,7	18,9	101	4,7	4,70	0,052	5,00	0,140	0,55	7,0
р. Сырдарья, плотина	8,8	17,6	111	0,4	5,20	0,00	5,60	0,200	0,28	12,0

41

мест поступления воды в оз.Камышлыбаш наблюдается уменьшение концентрации фосфатов, железа и кремния уменьшается. Вероятно, это связано с усиленным потреблением биогенных элементов водными растениями, массовое развитие которых наблюдается в восточной части озера. Таким образом, полученные данные ещё раз подтверждают биочистящую роль растений [9].

В исследованных по обеим группам ПДК водоемах из металлов в пределах нормы содержится только цинк. Содержание нефтепродуктов и ионной формы меди находится в пределах санитарно-гигиенической ПДК (табл.3).

Содержание обеих форм меди, свинца, фтора, фенолов и нефтепродуктов превышает рыбохозяйственные нормативы. Примерно в половине случаев содержание цинка, ртути и кадмия также превышает рыбохозяйственные нормы ПДК. Особую опасность представляет ртуть как канцероген, содержание её в большинстве случаев превышает санитарные нормы в 4-8 раз.

С целью выяснения соотношения ионных и связанных форм нахождения металлов в воде нами была проанализирована медь в ионной и общей форме. По разнице этих величин можно судить, что концентрация связанных форм на порядок выше концентрации меди в ионной форме. Так как наиболее токсична ионная форма / IO^- /, то существует потенциальная опасность повышения токсичности водной среды для гидробионтов.

Если концентрации металлов в водной толще подвержены большим колебаниям в зависимости от гидрологических и гидрохимических условий и залповых сбросов предприятиями загрязняющих веществ, то уровень накопления металлов в донных отложениях является более надежным показателем оценки загрязненности водной экосистемы в целом. Пока для грунтов ПДК нет, поэтому придется лишь констатировать фактические результаты исследований (табл.4): накопления железа - до 1800 (оз.Камышлыбаш); ионная форма меди - 247, цинк - 100, свинец - 86, медь общая - 20 и фтор - 4.

Таким образом, в донных отложениях исследованных озер депонированы значительные количества металлов, которые представляют потенциальную опасность для гидроекосистемы в плане вторичного загрязнения. В частности, при снижении pH воды часть депонированных металлов может перейти в растворенную форму [11], но это не характерно для наших водоемов.

Таблица 3

Загрязнение водоемов тяжелыми металлами, фенолами, нефтепродуктами и фтором, мг/л

Место взятия проб	Медь ионная	Медь общая	Цинк	Свинец	Ртуть	Кадмий	Фтор	Фенол	Нефтепродукты
Лайколь	0,003	0,036	0,000	0,126	0,003	0,000	2,00	0,004	0,105
оз. Камышлыбаш,									
зал. Чумшкуль	0,006	0,026	0,000	0,162	0,002	0,000	2,00	0,003	0,069
оз. Камышлыбаш,									
пос. Косжар	0,003	0,052	0,010	0,079	0,000	0,007	2,00	0,003	0,081
оз. Камышлыбаш,									
ст. Камышлыбаш	0,006	0,036	0,000	0,169	0,008	0,003	2,00	0,004	0,071
оз. Карачалан,									
центр. участок	0,006	0,049	0,010	0,082	0,003	0,005	1,12	0,004	0,080
оз. Карачалан,									
концевая часть	0,006	0,026	0,020	0,111	0,000	0,000	1,60	0,004	0,087
р. Сырдарья,									
плотина	0,003	0,036	0,015	0,082	0,000	0,000	1,00	0,003	0,067

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов и фтора в донных отложениях водоемов, мг/кг

Место взятия проб	Цинк	Железо	Медь	Свинец	Фтор	Коэффициент накопления K_n					Фтор
						цинк	железо	медь		свинец	
						общая	ионная				
Лайколь	1,00	75,0	0,36	10,90	6,5	1,00	535,7	120,0	10,0	86,5	3,25
оз. Камышлыбаш, зал. Чумшкуль	2,50	128,0	0,50	8,65	6,5	2,50	711,1	83,33	19,23	53,4	3,25
оз. Камышлыбаш, пос. Косжар	1,00	340,0	0,22	3,85	7,0	100	1789,5	79,33	4,23	48,73	3,50
оз. Камышлыбаш, ст. Камышлыбаш	1,40	52,5	0,44	4,15	3,5	1,40	403,8	73,33	12,22	24,55	1,75
оз. Карачалан, центр. участок	0,67	68,0	0,44	3,35	2,5	67,0	283,3	73,33	8,97	40,85	2,23
оз. Карачалан, концевая часть	1,30	90,0	0,36	3,85	6,0	65,0	163,6	60,0	13,84	34,68	3,75
р. Сырдарья, плотина	0,93	150,0	0,74	4,15	3,5	62,0	535,7	246,7	20,55	50,6	3,5

Несмотря на то, что применение в СССР ДДТ и частично ГХЦГ давно запрещено, хлорорганические пестициды до сих пор остаются приоритетной группой в мониторинге природной среды [12].

В исследованных водоемах содержание хлорорганических и фосфорорганических пестицидов не превышает санитарных норм (табл. 5), кроме рогора, содержание которого в 2-3 раза выше.

В то же время, содержание всех пестицидов (кроме карбофоса) значительно превышает рыбохозяйственные нормативы. Так, средневзвешенная концентрация гексахлорана (сумма α - и γ -изомеров) в озере Камышлыбаш составила 0,107 мкг/л, а ДДТ и его изомеров - 0,227 мкг/л. Уровень загрязнения р. Сырдарьи несколько ниже: 0,085 и 0,066 мкг/л соответственно.

Более ценные сведения о степени загрязнения гидроэкосистем пестицидами можно получить, как и в случае с металлами, путем анализа уровня загрязнения донных отложений. Ценные сведения дает анализ кумуляции пестицидов в живых компонентах экосистем, особенно в растениях и рыбе. Последнее важно и по той причине, что позволяет оценить качество рыбной продукции для пищевых целей. Методические приемы анализа указанных показателей достаточно сложны и трудоемки и, возможно, по этой причине в литературе данные об этих показателях отсутствуют.

Как видно из табл. 6, концентрации пестицидов в грунтах и растениях в сотни раз превышают таковые в воде. В целом же растения кумулируют пестициды, особенно, гексахлорана в 2-3 раза больше, чем грунты.

Самые высокие уровни кумуляции пестицидов наблюдаются в теле рыб (табл. 7). Так, в Сырдарье K_n гексахлорана в различных органах рыб достигает 1047, ДДТ и его метаболитов - 3848, в оз. Карачалан эти величины составляют соответственно 747 и 1643, а в оз. Камышлыбаш - 1411 и 5897. Наиболее высокий уровень кумуляции пестицидов в жировой ткани рыб.

В настоящее время максимально допустимый уровень (МДУ) суммы изомеров гексахлорана равен 0,2 мг/кг. Максимальное содержание гексахлорана в исследованных рыбах составляет 0,151 мг/л, что находится в пределах нормы. ДДТ и его метаболиты встречаются в теле всех исследованных видов рыб в концентрациях 0,005-0,631 мг/кг. Столь высокие концентрации пестицидов в теле рыб представляют большую опасность как для здоровья населения, употребляющего эту рыбу, так и для нормального функционирования рыбного населения

Таблица 5

Загрязнение воды пестицидами, мкг/л

Место взятия проб	α -ГХПГ	γ -ГХПГ	ДПЕ	ДД	ДПТ	Рогор	Метафос	Карбофос
Ляйколь	0,170	0,072	0,035	0,036	0,130	13,65	0,41	н/о
оз. Камышлыбаш, зал. Чумыл-коль	0,074	0,038	0,037	0,022	0,054	23,40	1,07	н/о
оз. Камышлыбаш, пос. Косжар:								
август	0,031	0,105	0,024	0,212	0,075	6,69	0,56	н/о
сентябрь	0,061	0,043	н/о	н/о	н/о	19,50	0,64	н/о
оз. Камышлыбаш, ст. Камышлыбаш	0,045	0,032	0,018	0,183	0,056	5,85	0,36	н/о
оз. Карачалан, центр. участок	0,094	0,087	н/о	0,208	н/о	63,70	2,62	н/о
оз. Карачалан, концевая часть	0,027	0,031	0,071	н/о	0,056	84,50	1,87	н/о
р. Сырдарья, плотина: август	0,021	0,105	0,003	0,008	0,065	3,90	0,35	н/о
сентябрь	0,027	0,016	н/о	0,005	0,051	13,65	0,58	н/о

Таблица 6

Уровень накопления пестицидов в донных отложениях и растениях, мг/кг сухого веса

Место взятия проб	α -ГХПГ	γ -ГХПГ	ДПЕ	ДД	ДПТ	K_n $\Sigma \alpha + \gamma$ -ГХПГ	K_n ДПЕ, ДД и ДПТ
Донные отложения							
Ляйколь	0,005	0,011	н/о	н/о	0,015	66,1	74,6
оз. Камышлыбаш, зал. Чумыл-коль	0,004	0,014	н/о	0,019	0,026	160,7	398,2
оз. Камышлыбаш, ст. Камышлыбаш	0,001	0,013	н/о	н/о	0,010	181,8	38,9
оз. Карачалан, центр. участок	0,001	0,028	н/о	н/о	0,033	160,2	158,7
оз. Карачалан, концевая часть	0,003	0,010	н/о	н/о	н/о	224,1	н/о
р. Сырдарья, плотина	0,002	0,016	н/о	н/о	н/о	211,8	н/о
Растения							
Ляйколь	0,025	0,013	н/о	н/о	0,033	157,0	164,2
оз. Камышлыбаш, зал. Чумыл-коль	0,014	0,083	0,011	н/о	0,036	866,1	415,9
оз. Камышлыбаш, пос. Косжар	0,051	0,022	0,007	0,022	0,027	608,3	361,3
оз. Камышлыбаш, ст. Камышлыбаш:							
август	0,028	0,021	0,014	0,018	0,031	636,4	245,1
сентябрь	0,027	0,011	н/о	н/о	0,085	493,5	330,7
р. Сырдарья, плотина	0,022	0,026	0,006	н/о	н/о	564,7	90,2

Уровни кумуляции хлорорганических

Виды рыб	Возраст и пол	Масса тела	L	e	Бир-ность в баллах	Анализируем. орган	Σ-ГХИГ
I	2	3	4	5	6	7	8
Озеро							
Ерех	♂ 6,2	1250	50	44	IV	мышцы	0,015
						жир	0,064
						жабры	0,010
						печень	0,023
Лещ	♀ 2+	200	31	26	III	мышцы	0,016
						селезенка+печень	0,013
Лещ	♀ 3	500	36	30	IV	мышцы	0,008
						икра	0,005
						печень	0,023
						жабры	0,012
Лещ	♀ 2	290	33	27	III	мышцы	0,001
						икра	н/о
Сазан	♂ 2+	700	37	31	I	мышцы	н/о
						печень	0,002
Сазан	♂ 2+	650	36	31	I	мышцы	0,015
						печень	0,008
						сперма	н/о
Сазан	♂ 1+	400	31	27	I	печень	0,013
						мышцы	0,010
Эммеголов	♂ 2+	2500	67	58	IV	печень	0,005
						жир	0,033
						мышцы	0,010
Эммеголов	♂ 2+	1500	54	48	IV	жир	0,020
						мышцы	н/о
Эммеголов	♂ 2+	1400	55	47	IV	печень	0,003
						жир	0,031
						мышцы	н/о

Таблица 7

пестицидов в теле рыб.

Содержания ХОП, мг/кг сырого веса								
γ-ГХИГ	ДДЕ	ДДД	ДДТ	Σ ГХИГ	L _н ГХИГ	Σ ДДТ	K _н ДДТ	Σ ХОП
9	10	11	12	13	14	15	16	17
Камыльбаш								
0,015	0,022	н/о	0,199	0,030	280	0,221	973,6	0,251
0,002	0,068	0,047	0,051	0,066	616,8	0,166	731,3	0,232
0,040	0,030	0,085	0,087	0,050	467,3	0,202	889,9	0,252
0,021	0,008	н/о	н/о	0,044	411,2	0,008	35,2	0,052
0,012	н/о	н/о	0,037	0,028	261,7	0,037	345,8	0,065
0,015	0,051	0,078	0,143	0,028	261,7	0,272	2542,1	0,300
0,010	0,011	0,070	0,312	0,018	168,2	0,393	3672,9	0,411
0,010	0,041	0,079	0,097	0,015	140,2	0,217	955,9	0,232
0,002	0,009	н/о	0,132	0,025	233,6	0,141	621,1	0,166
0,013	0,018	н/о	0,186	0,025	233,6	0,204	1906,5	0,229
0,041	0,013	н/о	0,029	0,042	392,5	0,042	392,5	0,084
0,010	0,010	0,047	0,011	0,010	93,5	0,068	635,5	0,078
0,062	0,027	0,125	0,479	0,062	579,4	0,631	5897,2	0,693
0,079	0,008	н/о	0,053	0,081	757	0,061	268,7	0,142
0,027	0,025	0,026	0,079	0,042	392,5	0,130	572,7	0,172
0,003	0,057	н/о	0,132	0,011	102,8	0,189	1766,4	0,200
0,043	0,013	0,039	0,063	0,043	401,9	0,115	506,6	0,158
0,071	0,013	н/о	н/о	0,084	785,0	0,013	57,3	0,097
0,003	0,014	н/о	0,152	0,013	121,5	0,166	731,3	0,179
0,007	0,005	н/о	н/о	0,012	112,1	0,005	22,0	0,017
0,118	0,086	0,069	0,106	0,151	1411,2	0,261	1149,7	0,412
0,002	0,085	н/о	0,217	0,012	112,1	0,302	1330,4	0,314
0,084	0,065	н/о	0,109	0,104	972,0	0,174	766,5	0,278
0,075	0,052	0,204	0,219	0,075	701,0	0,475	2092,5	0,550
0,008	0,013	н/о	н/о	0,011	102,8	0,013	57,3	0,024
0,050	0,033	н/о	0,039	0,081	757,0	0,072	317,2	0,153
0,071	0,019	0,080	0,106	0,071	663,6	0,205	903,1	0,276

I	2	3	4	5	6	7	8
							Озеро
II. Плотва	II+	40-70	I6- I8,5	I29- I4,9	0	печень икра мышцы	0,005 н/о 0,018
I2. Лещ	0+	40-50	I6,9- I4,9	I3- II,9	0	печень+ икра мышцы	0,002 0,016
							Сырдарья,
I3. Судак	-	40	I5	I2,6	0	мышцы	0,005
I4. Окунь	-	35	II,2	9,1	I	мышцы	0,002

Продолжение таблицы 7

9	10	11	12	13	14	15	16	17
Карачаган								
0,080	0,023	н/о	н/о	0,085	714,3	0,023	I36,9	0,108
0,055	н/о	0,117	0,159	0,055	462,2	0,276	I642,9	0,331
0,071	0,014	0,042	0,063	0,089	747,9	0,119	708,3	0,208
0,003	0,063	0,130	0,031	0,005	42,0	0,224	I333,3	0,229
0,049	0,040	0,027	0,186	0,065	546,2	0,253	I505,9	0,318
приплотинный участок								
0,084	0,017	0,113	0,107	0,089	I047,1	0,254	3848,5	0,343
0,002	н/о	н/о	0,049	0,004	47,1	0,049	742,4	0,053

гидроэкосистем. Установлено, что пестициды могут проявлять отдаленные мутагенные воздействия [13]. Известны случаи, когда появление язвенной болезни у судака является следствием повышенной кумуляции хлороорганических пестицидов в его теле [14].

В ы в о д ы

1. По уровню минерализации, согласно классификации Е.В.Посохова, воды исследованных водоемов относятся к классу сильносолонатовых (5-10 г/л) и слабосолонатовых (1-3 г/л, по ионному составу - к классу сульфатов группы натрия типа II, имеют очень высокую жесткость.

2. Концентрации биогенных веществ в исследованных водоемах находятся в пределах нормы, лишь содержание ионов аммония превышает санитарные и рыбохозяйственные нормы.

3. Концентрации многих тяжелых металлов (за исключением цинка), нефтепродуктов и фенолов превышают рыбохозяйственные и санитарные нормы. Значительное количество металлов находится в связанных формах, причем, концентрации металлов в донных отложениях в сотни раз выше, чем в воде, что представляет потенциальную опасность вторичного загрязнения.

4. Содержание пестицидов, за исключением рогора, не превышает санитарных норм, но выше рыбохозяйственных.

5. Впервые полученные нами сведения об уровнях накопления пестицидов в компонентах гидроэкосистем показали, что значительное количество поступающих в водоемы ксенобиотиков депонируется в донных отложениях, растениях и рыбах. Причем, по уровню загрязнения остаточными количествами ДДТ исследованные виды рыб не отвечают ветеринарно-санитарным требованиям.

6. Результаты проведенных исследований дают основание заключить, что в настоящее время в низовьях р.Сырдарьи сложилась весьма неблагоприятная гидроэкологическая ситуация. Для рыбного хозяйства положение можно считать критическим, так как качество рыбного мяса уже не отвечает ветеринарно-санитарным требованиям.

В заключение автор выражает глубокую благодарность дирекции ПО "Арал-рыбпром", заведующему лабораторией КазНПОРХ З.Ерханову и директору Камышлыбашского рыбопитомника У.Кулмашову за оказанное содействие в проведении научно-исследовательских работ.

Список использованной литературы

1. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. - Л.: Гидрометеоиздат, 1977.-541 с.
2. Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде. - М.: Колос, 1983.-304 с.
3. Справочник по физико-химическим методам исследования объектов окружающей среды.-Л.: Судостроение, 1979.-648 с.
4. Каримов Б.К., Разаков Р.М. Оценка токсикологической ситуации на примере Среднеазиатского региона - Сб.научных трудов/ВНИИВО.-Харьков, 1990.-С.26 - 34.
5. Справочник по гидрохимии.-Л.:Гидрометеоиздат, 1989.-392 с.
6. Посохов Е.В. Гидрохимия - Ростов на Дону, 1965. - 138 с.
7. Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов.- Л.:Наука, 1974.-235 с.
8. Алейкин О.А. Основы гидрохимии.-Л.: Гидрометеоиздат, 1970.-443с.
9. Экосистемы в критических состояниях.-М.: Наука, 1989.-155 с.
10. Алабастр Дж., Ллойд Р. Критерии качества воды для пресноводных рыб.-М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.-344 с.
11. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду.-М.:Наука, 1986.-368 с.
12. Израэль Ю.А., Гасилина Н.К. Организация и функционирование общегосударственной службы контроля природной среды - Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М., 1989, № 6, с.3-23.
13. Врочинский К.К., Телитченко М.М., Мережко А.И. Гидробиологическая миграция пестицидов.-М.: МГУ, 1980.-120с.
14. Мороз И.Е. Причины возникновения язвенного заболевания у судака.- Сб.научных трудов/ГосНИОРХ. 1986.-С.28-33.

И.Б.Рузиев, канд.техн.наук
Б.Х.Рахимов, канд.физ-мат.наук
(НПО САНИИРИ)

ГИДРОБОТАНИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД ОТ АГРОХИМИКАТОВ

Улучшение качества коллекторно-дренажных вод методом гидроботанической очистки с целью использования их в качестве дополнительного источника орошения сельскохозяйственных культур имеет важное значение для народного хозяйства Средней Азии, особенно в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов.

Использование коллекторно-дренажных вод возможно лишь при систематическом контроле за степенью и видом загрязнения, что требует разработки эффективных технологий очистки этих вод от различных загрязнителей.

В САНИИРИ проводятся лабораторные и полевые исследования по детоксикации пестицидов с использованием различных макрофитов, микроводорослей и микроорганизмов, развивающихся в биоценозе водоема. Изучаемый способ очистки коллекторно-дренажных вод от агрохимикатов основан на способности некоторых макрофитов интенсифицировать в водоемах процесс биохимического окисления веществ.

Опыт по изучению эффективности водных макрофитов по удалению агрохимикатов из коллекторных вод проводили в лотке под открытым небом.

Каждый лоток длиной 6м, на дно которого слоем 15 см уложили глинистую почву, был разделен на 5 частей, вместимость каждого отсека составила 500 л. В первом отсеке посадили ежеголовник, во втором — тростник и камыш, в третьем — уруть, в четвертом — все водные растения вместе; пятый отсек — контрольный. Через 20 дней после посадки растений начали опыт: во все отсеки внесли препарат $\mathcal{L}$ и $\mathcal{J}$ — ГХЦГ концентрацией 0,1 мг/л. Через 2; 168; 648; 1248 ч после его внесения отобрали пробы воды, донных отложений и растений.

Поглощение $\mathcal{L}$ — ГХЦГ из рабочего раствора началось сразу же после внесения препарата, по истечении 52 суток концентрация $\mathcal{L}$ — ГХЦГ в воде снизилась с 100,0 мкг/л до 0,300, в то же время в корнях растений она составила 54 мг/кг, а в стеблях значительно меньше — 34 мг/кг. Изменение содержания $\mathcal{L}$ — ГХЦГ в растениях и воде по времени показано на рис. I.

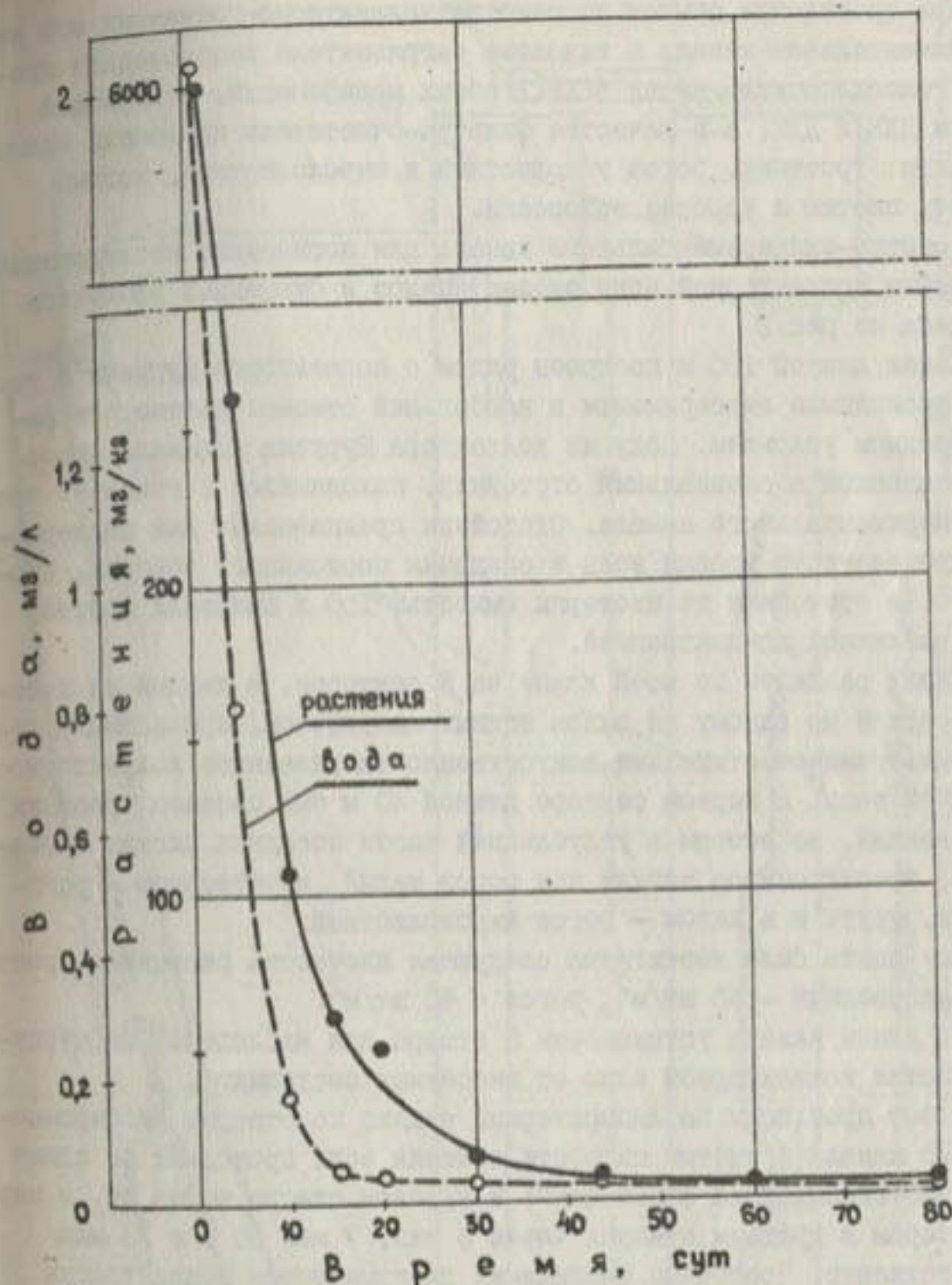


Рис. I. Изменение концентрации $\mathcal{L}$ — ГХЦГ в растениях и воде по времени

При проведении опытов по очистке коллекторно-дренажных вод на экспериментальном канале в качестве загрязнителя использовали препарат гексохлорциклогексан (ГХЦГ) обеих модификаций, содержащий примеси ДДТ и ДДТ, а в качестве фильтра-очистителя применяли водные макрофиты: тростник, рогоз узколистный и широколистный, водный гиацинт, пистию и харовые водоросли.

Схема опытно-экспериментального канала для проведения исследований по очистке коллекторной воды от пестицидов и биогенных элементов приведена на рис.2.

Канал длиной 100 м построен рядом с коллектором Шурузак с тем, чтобы проводимые эксперименты в наибольшей степени соответствовали природным условиям. Воду из коллектора Шурузак подавали насосной установкой в специальный отстойник, находящийся в головной части экспериментального канала. Отстойник предназначен для поддержания определенного уровня воды и создания постоянного течения. Кроме того, в отстойник из цистерны емкостью 100 л подавали раствор ХОП с различной концентрацией.

Канал разделен по всей длине на 5 секторов, в каждый из которых посадили по одному из видов водных макрофитов, призванных служить фильтрами-очистителями искусственно загрязненной коллекторно-дренажной воды. В первом секторе длиной 40 м был посажен тростник обыкновенный, во втором в углубленной части посадили пистию с гиацинтом, третий сектор заняли под рогоз малый, в четвертом — роголистник, уруть и в пятом — рогоз широколистный.

К началу опыта была достигнута следующая плотность растений: тростник обыкновенный — 80 шт/м², рогоз — 60 шт/м².

По длине канала установлены 3 створа для наблюдений за степенью очистки коллекторной воды от внесенных пестицидов.

Отбор проб воды на лабораторный анализ по створам экспериментального канала с учетом скорости течения воды проводили по схеме "вода-растения-донные отложения": в нулевом створе через 3с, в первом, втором и третьем створах через 3 мин, 7 мин 30 с и 13 мин соответственно. Повторные наблюдения за изменением концентрации хлороорганических пестицидов проводили через 1 ч и через 2 сут (табл. I).

Аналитические данные коллекторно-дренажных вод, искусственно загрязненных хлорорганическими пестицидами, указывают на высокую степень очистки в процессе прохождения их через фильтр из водных

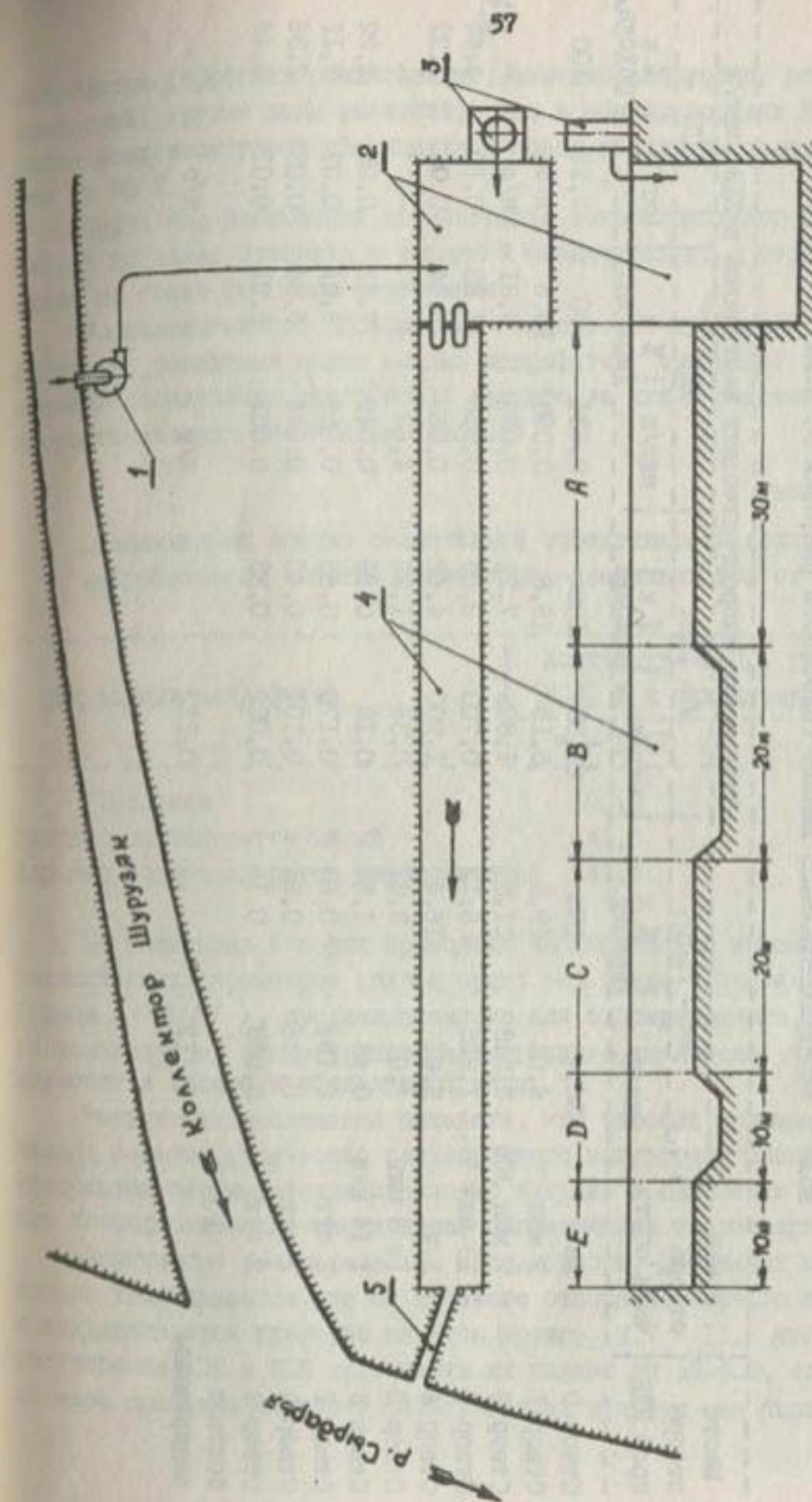


Рис.2. План и разрез экспериментального участка:

А — полупогруженные растения (тростник); В — плавающие растения (гиацинт и пистия); С — полупогруженные растения (рогоз малый); D — погруженные растения (харовые водоросли); E — полупогруженные растения (рогоз широколистный и тростник).

Содержание хлорорганических пестицидов в коллекторно-дренажной воде в экспериментальном канале (плотность растений 80 шт/м²)

Место отбора проб КДВ	Время отбора с начала опыта	Содержание хлорорганических пестицидов в КДВ, мкг/л									
		α - ГХЦГ		β - ГХЦГ		ДПТ		ДПТ		ДПТ	
		мкг/л	% к исходн.	мкг/л	% к исходн.	мкг/л	% к исходн.	мкг/л	% к исходн.	мкг/л	% к исходн.
Створ 0	3с	30,48	100	26,00	100	0,634	100	2,25	100		
Створ 1	3 мин	6,04	19,8	5,15	19,8	0,098	15,5	н/о	-		
Створ 2	7 мин 30с	3,548	11,8	1,875	7,21	0,059	9,31	н/о	-		58
Створ 3	13 мин	1,865	6,12	0,700	2,69	0,056	8,83	0,100	4,44		
Створ 4	1 ч	5,01	16,4	1,200	4,62	0,063	9,94	0,050	2,22		
Створ 2	1ч 8 мин	1,01	3,31	0,35	1,35	4,62	-	-	-		
Створ 3	1ч 14 мин	0,48	1,57	0,18	0,69	0,049	7,73	0,05	2,22		
Створ 1	2 сут	0,192	0,63	0,170	0,65	0,059	9,31	0,07	3,11		
Створ 2	2 сут	0,186	0,61	0,104	0,40	0,044	6,94	0,053	2,36		
Створ 3	2 сут	0,058	0,19	0,086	0,33	0,033	5,21	0,011	0,49		
Фоновое содержание	-	0,112		0,112		н/о	н/о	н/о			

макрофитов (тростник обыкновенный, харовые водоросли, рогоз широколистный, другие виды растений). Уже в первых порциях КДВ концентрация всех испытуемых пестицидов к концу канала уменьшилась более чем на 90 %.

Через час наблюдений концентрация гексохлорциклогексана уменьшилась до долей процента к исходной концентрации, а через двое суток стала не более фоновое содержание.

Последовательное прохождение коллекторно-дренажной воды через фильтр из различных видов водных макрофитов позволяет приблизительно оценить селективную способность каждого из них к очистке КДВ от хлорорганических пестицидов (табл.2).

Таблица 2

Приближенная оценка селективной эффективности водных макрофитов по очистке коллекторно-дренажных вод от ГХЦГ

Вид водных макрофитов	Количество ГХЦГ, удаленного из КДВ, % к исходному содержанию	
	α - ГХЦГ	β - ГХЦГ
Тростник	80,2	80,2
Гиацинт+листья+рогоз малый	41,3	63,6
Харовые водоросли+рогоз широколистный	47,4	62,4

На указанных створах проводили наблюдения за изменением гидрохимических параметров коллекторных вод также с помощью прибора Хариба (HARIBA), предназначенного для одновременного определения pH температуры, концентрации растворенного кислорода, электропроводности и мутности исследуемой воды.

Результаты наблюдений показали, что заросли водных культур выделяют большое количество растворенного кислорода, благодаря чему ускоряются биохимические процессы, ведущие к окислению и деструкции хлорорганических пестицидов, загрязняющих коллекторные воды.

Количество растворенного в коллекторно-дренажных водах кислорода увеличивается уже от нулевого створа до первого в 3,5 раза и поддерживается примерно на этом уровне (9,7 - 11,5 мг/л). При растворении ХОП в КДВ щелочность их падает до pH=6,5, однако затем по мере прохождения через фильтр водных культур она быстро восста-

навливаются до нормальных величин $p_H=7,8-7,9$. Одновременно с этим происходит резкое осветление КДВ, мутность их уже ко второму створу уменьшается в 45 раз (табл.3). Оба этих фактора также косвенно указывают на проходящий в экспериментальном канале процесс очистки КДВ от ХОП. Температура КДВ и их электропроводимость в процессе опыта практически сохранялись на постоянном уровне.

Таблица 3

Динамика гидрохимических показателей загрязненных коллекторно-дренажных вод при очистке водными культурами в экспериментальном канале

Показатели	СТВОР 0 начало канала без рас- тений	СТВОР I тростник	СТВОР 2 плавающие растения	СТВОР 3 рогоз ш- роколи- стый
p_H	6,5	7,8	7,9	7,9
o_c	26,4	26,0	25,8	25,9
O_2 мг/л	3,3	11,5	11,3	10,8
Электропроводность, см/м	1,6	1,5	1,6	1,5
Мутность, мг/л	18	10	0,4	0,3

Для эксперимента в природных условиях выбрали коллектор с зарослями высших водных растений (тростник, рогоз узколистный и широколистный и др.). Плотность растений 300 шт/м^2 , расход воды в коллекторе — около $1 \text{ м}^3/\text{с}$. Коллектор разделили на три створа, каждый до 30 м длиной. Препарат ГХЦГ 4%-ной концентрации вносили по всей ширине коллектора. Пробы воды на анализ отбирали с учетом скорости добегания потока.

В первых порциях воды, загрязненной искусственно внесенными пестицидами, ко второму створу, через 60 м фильтра из водных культур, содержание ХОП уменьшается во много раз: α — ГХЦГ — 86, δ — 45, ДДТ — 21 и ДДТ — 2.

Через 6 ч после начала опыта концентрация пестицидов в коллекторно-дренажных водах стабилизируется и становится практически неотличимой от первоначального фонового содержания.

Обработка результатов лабораторных полупроизводственных и натурных исследований позволила определить $K = 0,00107 \frac{1}{\text{с}}$ — коэффи-

циент, зависящий от густоты стояния тростника на биоплато при $\text{Вопт } T=1$; для тростника эта величина составляет 350 и более растений на единицу площади.

Экспериментально установленные параметры процесса поглощения агрохимикатов дают возможность предложить зависимость, с помощью которой можно рассчитать размеры биоплато:

$$L_n = - \frac{V}{K} T \ln \frac{S_{np}}{S_0}$$

где V — скорость течения воды, м/с;

K — коэффициент поглощения, $K=0,00107 \text{ 1/с}$;

T — коэффициент, учитывающий вид водной культуры и густоту стояния растений на биоплато;

S_0 и S_{np} — концентрация на входе в биоплато и на выходе из него.

Как показали наши исследования, очистка сбросных и коллекторно-дренажных вод должна осуществляться в искусственно создаваемых биопрудах (биоплато) или непосредственно в самих коллекторах.

Рекомендуемая расчетная формула для определения основных параметров биоплато (размеров, скорости течения воды, густоты стояния растений в зависимости от их видового состава и др.) обеспечивает необходимые интенсивность и степень гидробиотической очистки загрязненных агрохимикатами коллекторно-дренажных вод.

Предлагаемая технология гидробиотической очистки коллекторно-дренажных вод от агрохимикатов, основанная на применении высших водных растений, прошла производственную апробацию и внедрена на коллекторе ГПК-420 в Сырдарьинской области с годовым экономическим эффектом 500 тыс. рублей.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
КОЛЛЕКТОРОВ ПРИАРАЛЬЯ

На двух коллекторах Берунийского района ККАССР проводились натурные исследования кинематической структуры потока. В частности, исследовались два участка Берунийского коллектора вблизи автодороги Беруни-Нукус и насосной станции, а также расположенный в том же районе коллектор, русло которого в отличие от Берунийского коллектора покрыто камышовой растительностью.

На каждом из исследуемых участков были разбиты по несколько створов, на которых измерялись глубины, скорости течения воды по вертикали пятиточечным способом, проводилась нивелировка уровней воды.

Исследования показали, что при отсутствии в русле коллектора растительности характер течения потока в нем практически идентичен течению воды в открытых водотоках. В частности, на относительно прямолинейных бесприточных участках коллектора увеличиваются глубины и скорости течения потока от берега к его оси, где эти величины достигают максимальных значений. При этом скорости течения потока увеличиваются от дна к поверхности воды (рис.1,2). Величина продольного уклона водной поверхности возрастает по мере

увеличения расхода воды коллектора и соответственно скоростей течения потока.

Кинематика потока в коллекторах, русла которых покрыты камышом, имеет несколько отличительный характер. Как правило, встречаются две разновидности расположения камыша в русле коллектора: прибрежное, когда камышом заняты участки русла у обоих берегов, а центральная часть поперечного сечения свободна от растительности, и сплошное, при котором камыш растет практически по всему сечению коллектора.

В обоих случаях характер распределения глубин наполнения потока сохраняется в основном таким же, как и в бескамышовых коллекторах — увеличивается глубина от берега к оси коллектора, где она достигает максимальной величины.

Кинематика же потока в коллекторах с прибрежным расположением камыша выглядит следующим образом: в зонах, занятых камышом, за счет возникновения дополнительного сопротивления снижаются

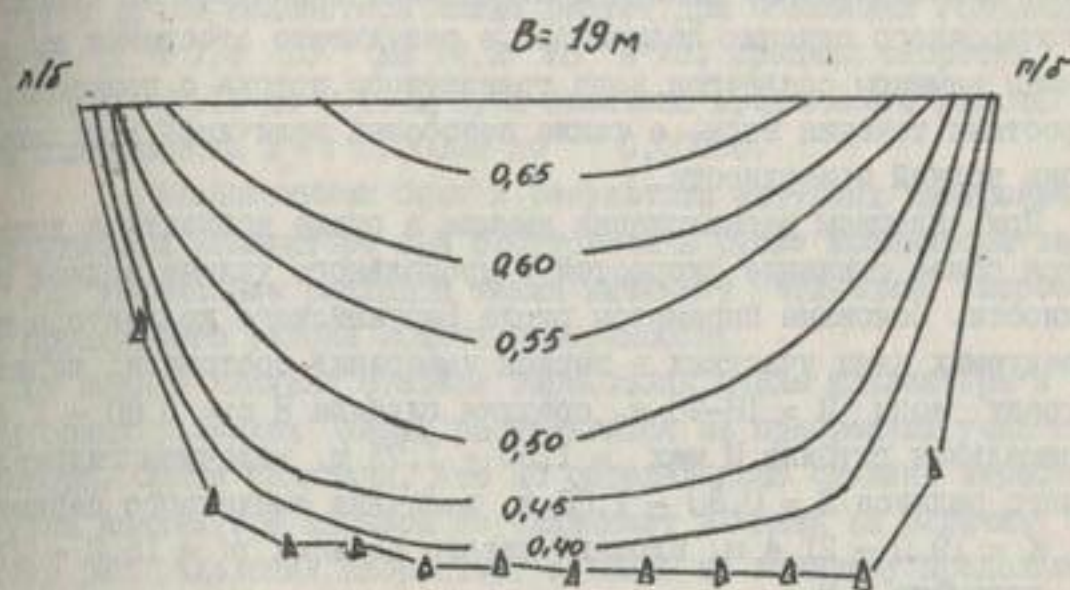


Рис.1. Изоахи скоростей в ств.1 Берунийского коллектора
($M_r = 1:150$, $M_B = 1:25$).

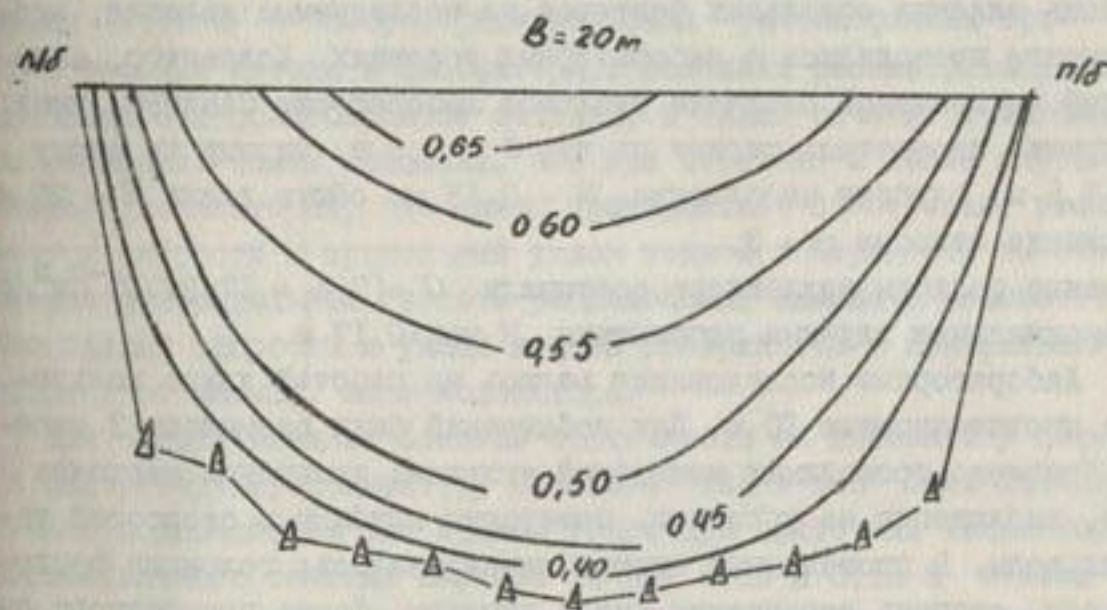


Рис.2. Изоахи скоростей в ств. Берунийского коллектора
($M_r = 1:150$, $M_B = 1:25$).

скорость и величина продольного уклона водной поверхности, образуются слабопроточные зоны, в центральной, свободной от камыша части поперечного сечения коллектора, в результате стеснения живого сечения камышом создается зона транзитного потока с повышенными скоростями течения воды, а также возросшей величиной продольного уклона водной поверхности.

При сплошном расположении камыша в русле коллектора допускается общее снижение скоростей и продольного уклона водной поверхности. Основные параметры русла Берунийского коллектора на исследуемых нами участках в период измерений составили: ширина по урезу воды $B = 18-20$ м, средняя глубина $H_{\text{ср}} = 0,80 - 1,40$ м, максимальная глубина $H_{\text{мах}} = 1,30 - 1,75$ м, величина гидравлического радиуса $R = 0,80 - 1,30$ м, величина смоченного периметра $\chi = 19,0 - 21,4$ м, площадь живого сечения $\omega = 15,2 - 27,9$ м², параметр $\frac{B}{H_{\text{мах}}} = 11,3 - 13,8$.

Те же параметры во втором, заросшем камышом, коллекторе составили: $B = 7,0-7,5$ м, $H_{\text{ср}} = 0,50-0,65$ м, $H_{\text{мах}} = 0,70 - 1,10$ м, $R = 0,45-0,60$ м, $\chi = 7,6-8,4$ м, $\omega = 3,4-4,8$ м², $\frac{B}{H_{\text{мах}}} = 6,8 - 10$ м.

Учитывая, что в натуральных условиях довольно сложно выявить степень влияния отдельных факторов на исследуемые явления, эксперименты проводились в лабораторных условиях. Коллектор, выложенный на песчаной площадке русловой лаборатории САНИИРИ, имел следующие параметры: ширину по дну $b = 0,6$ м, ширину по верху $B = 1,5$ м, глубину наполнения $H = 0,15$ м, общую длину $\ell = 25$ м, заложение откосов $m = 3$.

Головные расходы коллектора составили $Q = (7,4 - 17,2) \cdot 10^{-3}$ м³/с, а максимальная глубина наполнения $H_{\text{мах}} = 0,17$ м.

Лабораторные исследования велись на рабочей длине коллектора протяженностью 10 м. Для наблюдений были размечены 3 створа. Комплекс проводимых измерений включал: измерения расходов воды, наблюдения за уровнями, измерения глубины и скоростей течения воды. В проведенных опытах варьировались: головные расходы воды, степень зарастания русла камышом, форма поперечного сечения, наличие боковой приточности. Средняя продолжительность каждого опыта составила 2-3 часа. Мы провели 12 опытов. Лабораторные исследования показали, что независимо от того, растет или нет в русле коллектора камыш, увеличение головных расходов ведет к увеличению скоростей течения воды в коллекторе и соот-

ветственно уклона водной поверхности (рис.3). В частности, в опытах, где в русле коллектора камыш растет при повышении головных расходов Q с $7,4 \cdot 10^{-3}$ до $17,2 \cdot 10^{-3}$ м³/с, средняя скорость увеличилась с 0,11 до 0,16 м/с, а величина продольного уклона водной поверхности i_0 с 0,00005 до 0,00020.

Аналогичными были и результаты натурных измерений на Берунийском коллекторе при отсутствии в русле коллектора камыша, где увеличение расходов также вызывает увеличение скоростей и продольного уклона водной поверхности.

При оценке влияния степени зарастания русла коллектора в лабораторных условиях камыш располагался на прибрежных участках коллектора. Опыты показали, что до определенной степени зарастание русла коллектора камышом не оказывает влияния на величину и характер распределения скоростей, а также на величину продольного уклона водной поверхности. Но чем гуще заросли камыша на прибрежных участках коллектора, тем заметнее снижение скорости и продольного уклона водной поверхности в этих зонах при одновременном увеличении соответствующих величин в центральной, свободной от камыша, зоне коллектора. Данные лабораторных исследований совпадают с результатами натурных измерений. При определении влияния формы поперечного сечения коллектора на характер течения потока в лабораторных условиях рассматривали трапециевидное и полигональное сечения, а также сечение с затопленными берегами. Опыты показали, что при переходе к более широкому сечению в коллекторах, где камыш произрастает по берегам, увеличиваются скорости и продольный уклон водной поверхности за счет снижения относительной густоты расположения камыша и соответственно падают скорости и уклон водной поверхности в центральной, свободной от камыша, зоне коллектора.

Для оценки влияния боковой приточности на кинематику потока к лабораторному коллектору по схеме "дно в дно" были последовательно подсоединены под прямым углом два приточных коллектора трапециевидного сечения шириной по дну 0,09 и 0,12 м и коэффициентом заложения откоса $m = 3$. Суммарный расход обоих притоков составил $Q_{\text{пр}} = (0,7 - 5,0) \cdot 10^{-3}$ м³/с.

Лабораторные опыты показали, что при наличии боковой приточности в узле сопряжения наблюдается типичная картина соединения потоков. Выше узла сопряжения с притоком вследствие дополнительного расхода воды возникает подпор, вызывающий

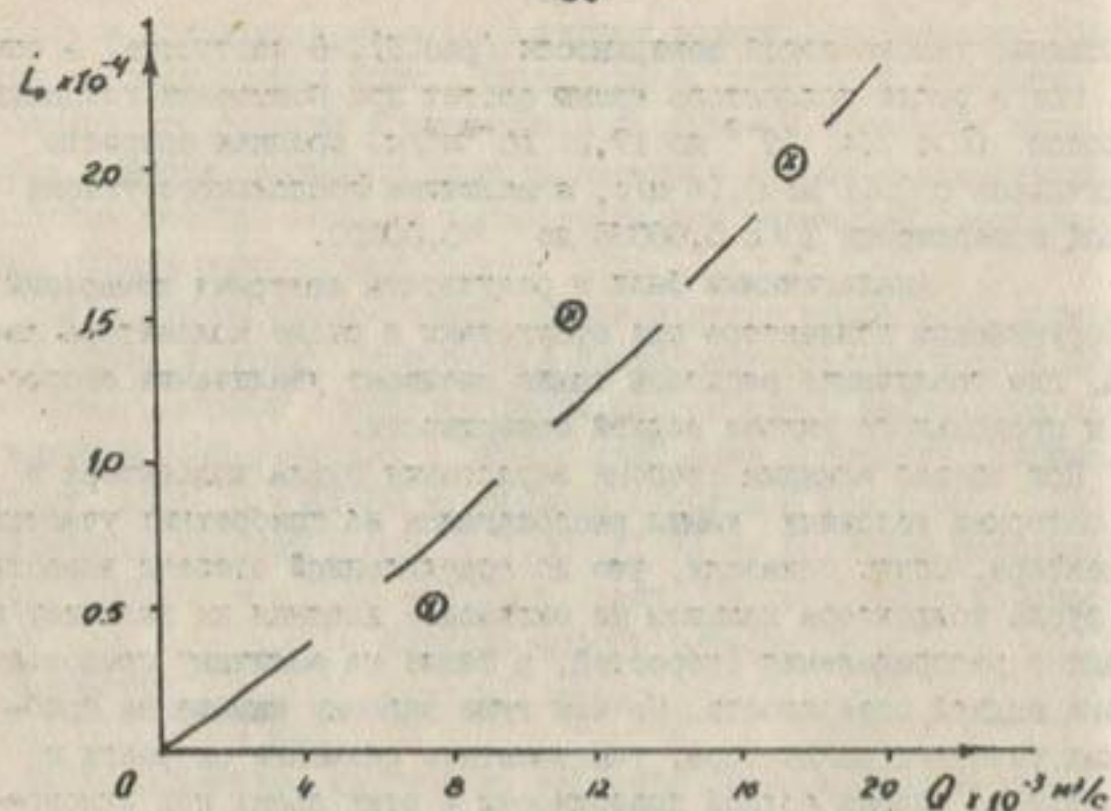


Рис. 3. График зависимости $i_0 = f(Q)$.

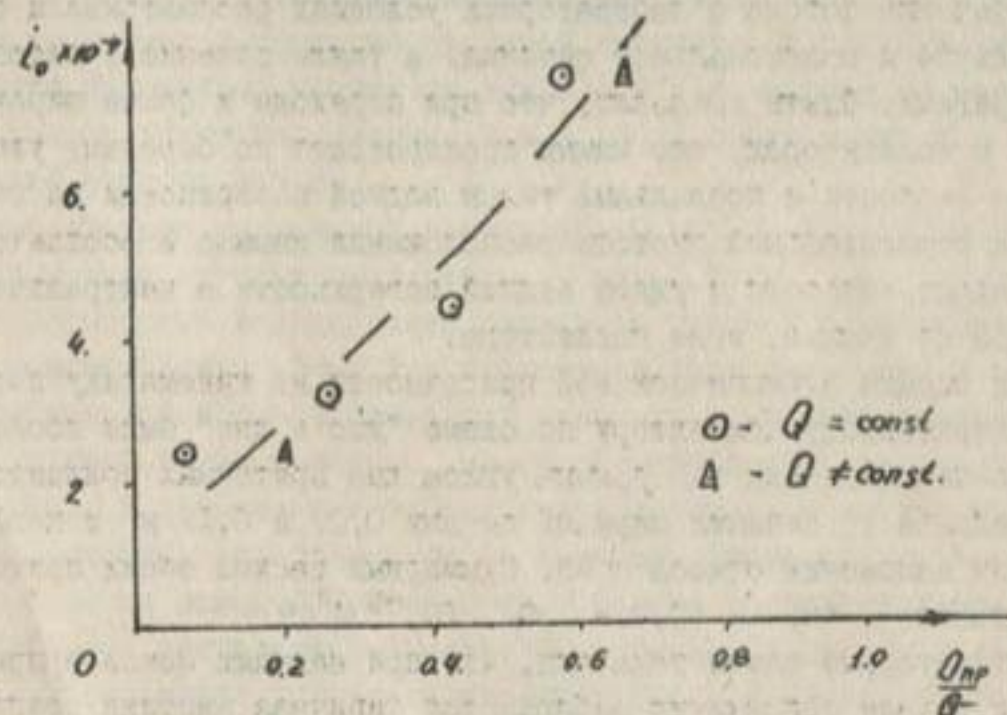


Рис. 4. График зависимости $i_0 = f\left(\frac{Q_{pr}}{Q}\right)$.

рост глубин наполнения и падение скоростей течения воды. В узле сопряжения происходит резкое перераспределение и рост скоростей течения потока. Ниже узла сопряжения у примыкающего к притоку берега образуется зона водоворота, а у противоположного берега — зона транзитного потока с повышенными скоростями течения воды.

Рост скоростей наблюдается до сжатого сечения (створа, где ширина водоворотной зоны достигает максимальной величины). Затем скорости начинают снижаться и постепенно выравниваться по поперечному сечению.

Величина продольного уклона водной поверхности при наличии боковой приточности возрастает. При этом с ростом относительной боковой приточности $\frac{Q_{pr}}{Q}$ она также увеличивается (рис. 4).

С.В.Мягков
(НПО САНИИРИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЛЕПЕРЕНОСА ПО СТВОЛУ р.АМУДАРЬИ

В бассейне р.Амударьи широко развито орошаемое земледелие, причем в нижнем течении реки — единственная водная артерия, питающая ирригационную сеть, количество и качество воды которой оказывает значительное влияние на эффективность мелиорируемых земель.

Процесс насыщения русловой воды растворенными солями вниз по течению происходит следующим образом. Для полива водозабор осуществляется выше по течению реки, а сбрасываются коллекторно-дренажные воды ниже. В результате контактирования оросительной воды с почвой и подстилающими породами коллекторно-дренажные воды имеют повышенную минерализацию, таким образом на протяжении каждого орошаемого массива происходит частичное замещение речной воды водами повышенной минерализации. Кроме того, количество воды, необходимое для орошения одного типа земель с одинаковыми условиями дренирования, пропорционально качеству оросительной воды. Следовательно, на каждом поливном участке водозабор увеличивается по течению реки, а вместе с ним и сброс коллекторно-дренажных вод.

При наличии нескольких таких участков качество воды в реке может превысить допустимые нормы, а при отводе коллекторно-дренажных вод от русла реки в нижнем течении может возникнуть дефицит водных ресурсов.

Для более детального изучения процесса переноса солей по течению реки, воспользуемся расчетами, основанными на уравнениях влаго-солепереноса. Но для этого необходимо создать математическую модель, учитывающую динамические процессы, и реализовать её численными методами.

При математическом описании функционирования открытых потоков исходят из соображений употребления полученных математических моделей и результатов расчетов. На наш взгляд, для решения поставленной задачи достаточно будет "одномерного" подхода для описания течения в открытом русле, при котором течение считается одномерным, т.е. скорость по поперечному сечению одинакова и уровень воды в поперечном направлении горизонтален, кривизна линий тока мала и

вертикальные ускорения незначительны, влияние трения на границах и турбулентность учитываются законами сопротивления. Средний уклон дна русла мал и косинус угла между линией дна и горизонталью может быть равен единице.

В этих случаях при моделировании открытых потоков часто пользуются уравнением баланса

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = P, \quad (1)$$

где ω — площадь живого сечения;
 Q — расход воды;
 P — боковой приток на единицу длины.

В качестве уравнения движения для простых (с точки зрения гидравлических явлений) течений применяют уравнение Шези без инерционных составляющих

$$Q = \omega^{\frac{2}{3}} C \sqrt{xJ}, \quad (2)$$

где C — коэффициент Шези;
 x — смоченный периметр;
 J — уклон свободной поверхности.

При численной реализации модели, основанной на применении уравнений (1) и (2), необходим набор параметров русла, характеризующих течение, но главное требование — это жесткая и статистически тесная связь между гидравлическими характеристиками потока: площадью поперечного сечения, смоченным периметром, гидравлическим радиусом и уровнем воды в реке.

От тесноты связи непосредственно зависит точности результатов и сходимость расчетных и фактических гидрографов по гидрометрическим створам. Теснота связи расходов воды и других гидравлических параметров потока, например, зависит от деформационной устойчивости русла. Так, для слабodeформируемых русел связь будет более тесной, чем для деформируемых. Поскольку русло Амударьи в нижнем течении подвержено значительным деформациям, это требует проведения сравнительно частых измерений расходов воды.

Причем эти деформации носят случайный характер. Если для рек со слабodeформируемым руслом для выявления связи достаточно 50–60 измерений в год, то, например, в створе Туямунского гидроузла их требуется 150. Как и следовало ожидать, модельные расчеты, проведенные по уравнениям (1) и (2) для нижнего течения р.Амударьи, не

дали положительных результатов. Хотя расчетный и фактический гидрографы имели общую тенденцию роста в период весеннего половодья, однако паводковые несовпадения были значительны, что ограничивает практическое применение результатов расчета. Поэтому мы пользовались "камерным" методом представления потока в виде отдельных последовательно соединенных емкостей, изложенным ниже.

Конечно-разностное представление уравнения (1) при отсутствии инерционных составляющих в уравнении (2) аналогично последовательной системе балансовых уравнений для участка реки

$$\left\{ \frac{dW_j}{dt} = Q_{j-1} + P_j - Q_j - V_j \quad \forall j \in \{N\} \right. \quad (3)$$

где W_j — количество воды на j -ом участке;

Q_{j-1}, Q_j — соответственно приходящий и уходящий расходы воды на j -ом участке;

P_j — приток на j -ом участке;

V_j — водозабор на j -ом участке;

N — количество последовательно соединенных участков.

В общем случае запас влаги на участке можно выразить следующим образом

$$W_j = \int_0^{L_j} \omega_j d\ell, \quad (4)$$

где L_j — протяженность j -го участка.

Однако будем исходить из того положения, что река дискретизируется таким образом, что для участка конечной длины изменение площади живого сечения будет незначительным и при численной реализации им можно пренебречь, т.е. $\Delta\omega/\Delta\ell = 0$. Заметим, что для численной реализации уравнений (1) и (2) вводится аналогичное допущение.

Отсюда запас воды на участке определяется по выражению

$$W_j = \omega_j L_j.$$

Для численного решения уравнения Шези необходимо задать уровень свободной поверхности. Следовательно, применение уравнения (2) ограничивается потоками с недеформируемым руслом, или, по крайней мере, тесной связью между расходами и уровнем воды в реке. Иначе идентификация параметров (коэффициент шероховатости, показатель степени) вызовет значительные трудности и не гарантирует требуемой

точности при последующих расчетах.

Воспользуемся подходом, изложенным в работе [1], где расход воды, выходящий из j -го участка, предполагается пропорциональным объему воды на участке, т.е. $Q_j = C_j W_j$. При допущении линейности участка запишем выражение для расхода воды

$$Q_j = L_j f_j(\omega_j). \quad (5)$$

Этот подход не требует однозначной зависимости характеристик потока от уровней воды в реке, так как для неустановившегося течения нельзя вводить допущение об однозначности связи расходов с уровнями.

При прохождении паводковой волны кривая связи для какого-либо створа будет иметь форму петли, которая свидетельствует, что для одной и той же глубины потока имеется несколько расходов воды, причем каждый паводок может дать свою петлю. Ниже показано, что подход с использованием уравнения (5) позволяет моделировать водный поток и в деформируемых руслах.

Главным требованием является однозначность и относительная стабильность во времени функции f_j .

На основе материалов по измеренным расходам в р. Амударье были проанализированы зависимости расходов воды в реке от площади живого сечения потока. В табл. I приведены функциональные зависимости, коэффициенты которых определяли методом наименьших квадратов, и коэффициенты линейной корреляции между фактическими и рассчитанными по соответствующему уравнению расходами воды.

Нелинейная зависимость заметно повышает коэффициент корреляции по сравнению с линейной. Отметим небольшое отличие между коэффициентами корреляции при использовании уравнений (в) и (с) таблицы I. В расчетах лучше пользоваться уравнением (в), так как при площади живого сечения, равной нулю, расход воды также будет равен нулю. Этого нельзя сказать при использовании уравнения (с) при ненулевом свободном члене.

С учетом вышеизложенного система уравнений (3) может быть представлена в виде

$$\left\{ L_j \frac{d\omega_j}{dt} = [a_{j-1} \omega_{j-1}^2 + b_{j-1} \omega_{j-1} - a_j \omega_j^2 - b_j \omega_j] + P_j - V_j \right. \quad (6)$$

Идентификация системы (6), по существу, сводится к определению коэффициентов зависимости расхода воды в реке от площади живого сечения.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между фактическими
и расчетными расходами воды
по гидронетстворах р. Анударьи

$$r = [Q_f, Q_p]$$

вид зависимости: $Y = f(X)$	наименование гидронетстворов р. Анударьи				
	ст. Тернез	Керки	Ильчик	Дарганата	Тянумен
a) $Y = aX$	0,592	0,682	0,558	0,721	0,653
b) $Y = aX^2 + bX$	0,887	0,983	0,824	0,937	0,979
c) $Y = aX^2 + bX + c$	0,958	0,985	0,892	0,978	0,982

Таблица 2

Параметры модели по гидронетстворах р. Анударьи

Гидронетствор	L, км	a	b
ст. Тернез	150	0,00037	0,513
Караунокого канала	170	0,00036	0,634
Каршинокого канала	40	0,00041	0,422
п. Керки	15	0,00033	0,604
г. Анубухарокого канала	210	0,00042	0,523
п. Ильчик	80	0,00037	0,442
ст. Дарганата	140	0,00038	0,603
Тянуменский Г/У	90	0,00035	0,504

Предполагается, что в потоках с большей скоростью течения перемешивание растворенного вещества происходит полностью в пределах каждого участка за расчетный интервал времени. Поэтому баланс массы растворенного вещества справедливо записать для одного участка реки в виде

$$\frac{dm_j}{dt} = C_{j-1} Q_{j-1} + C_j^p P_j - C_j (Q_j + V_j), \quad (7)$$

где m_j — масса растворенного вещества на j -ом участке;
 C_j — концентрации вещества на j -ом участке;
 V_j — водозабор на j -ом участке.

Мы не рассматриваем здесь коэффициент молекулярной диффузии, поскольку он не сопоставим со скоростями движения воды в реке.

Для определения концентрации вещества на j -ом участке

$$C_j = m_j / [\omega_j \cdot L_j];$$

$$m_j = C_j \cdot \omega_j \cdot L_j. \quad (8)$$

Формализованное представление реального объекта балансовым уравнением и уравнением движения вещества предполагает использовать вычислительные операции для получения численных результатов, характеризующих функционирование объекта во времени.

Численное решение модели сводится к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений вида

a) для воды

$$\left\{ \frac{d\omega_j}{dt} = \frac{1}{L_j} (Q_{j-1} - Q_j + P_j - V_j) \right. \quad (9)$$

б) для растворенного вещества

$$\left\{ \frac{dm_j}{dt} = C_{j-1} Q_{j-1} + C_j^p P_j - C_j (Q_j + V_j) \right. \quad (10)$$

Численное решение системы уравнений, состоящей из конечного множества элементов и потоков между ними, сводится к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений при известных крайних условиях разностными методами.

Начальные условия задаются в виде расходов воды в створах на начальный момент времени $Q_j(0) = Q_{j0}$, $C_j(0) = C_{j0}$. Задание граничных условий производится в виде притоков и водозаборов по каждому участку, зависящих от времени:

$$Q_j^p = Q_j^p(t), V_j = V_j(t), C_j^p = C_j^p(t) \text{ с известными ограничениями.}$$

Для решения подобных систем существует множество методов.

Учитывая, что в правой части уравнений функция имеет нелинейность по параметрам, использовать неявный метод нецелесообразно. Воспользуемся явной разностной схемой (метод Эйлера) и запишем

$$\left\{ \begin{aligned} \omega_j^{t+\tau} &= \omega_j^t + \frac{\tau}{L_j} [a_{j-1} \omega_{j-1}^2 + b_{j-1} \omega_{j-1} - a_j \omega_j^2 - b_j \omega_j + P_j - V_j], \end{aligned} \right. \quad (II)$$

где τ — временной шаг интегрирования;
 N — количество элементов.

Эта схема удобна для реализации на ЭВМ, но имеет первый порядок точности по временному шагу τ . Для уравнений вида

$$u^{t+\tau} = u^t + \tau f(u)^t$$

условием устойчивости по τ является

$$\tau \leq \pm 2 / (\partial f / \partial u)^t.$$

В этом случае поток влаги определяется с учетом имеющихся на момент времени t уровней влагонасыщенности элементов

$$Q_j^t = f_j(\omega_j^t); \quad Q_{j-1}^t = f_{j-1}(\omega_{j-1}^t),$$

где f_j — функциональная зависимость взаимодействия с заданными численными значениями коэффициентов.

Исходя из имеющихся уравнений баланса и переноса вещества, можно заключить, что численная схема консервативна, так как поток не зависит от направления.

В нашем случае аналогом пространственного шага сетки служит фиктивный объем элемента, выраженный жестким сечением элемента, а аналогом скорости потока массы — сумма потоков воды в j -ый элемент. Следовательно, для определения максимально допустимого шага по времени можно записать

$$\tau^{\max} \leq 0,5 \left(\sum_{i \in A_j} Q_{ji} / L_j \right)^t. \quad (I2)$$

Алгоритм решения представляет собой последовательное определение потоков влаги и объемов воды на участке, а также концентрацию вещества при известных притоках.

Прежде чем использовать в расчетах реальные данные необходимы тестовые испытания, цель которых — исследовать поведение модели и её соответствие общепринятым критериям. Для этого проводились контрольные расчеты, графически отображенные на рис. 1 — 4. При установившемся движении во входном створе были заданы два паводка различной величины (первый паводок меньше второго). На рисунках

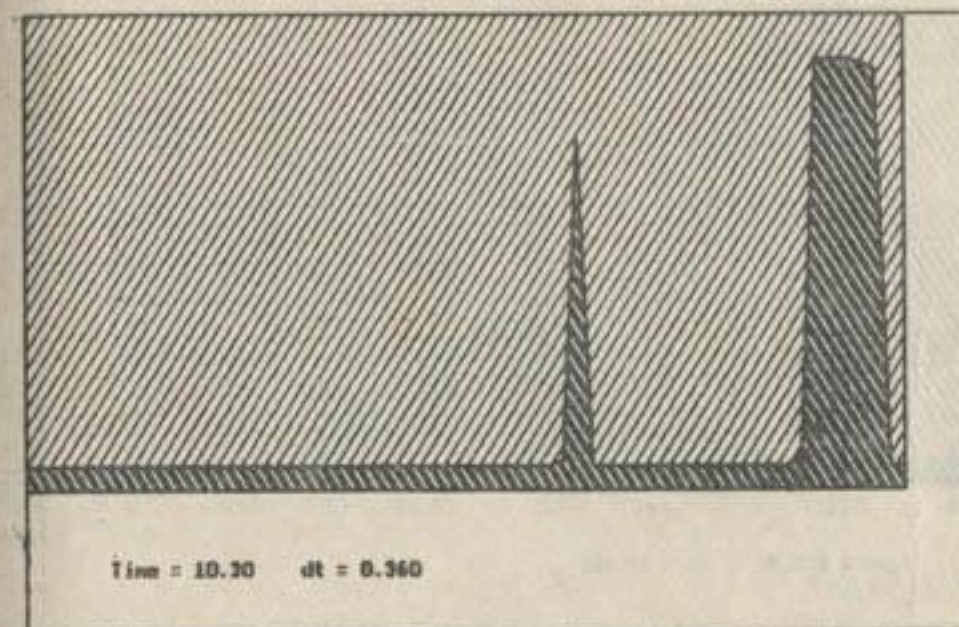


Рис. 1. Начальный гидрограф (время указано в секундах).

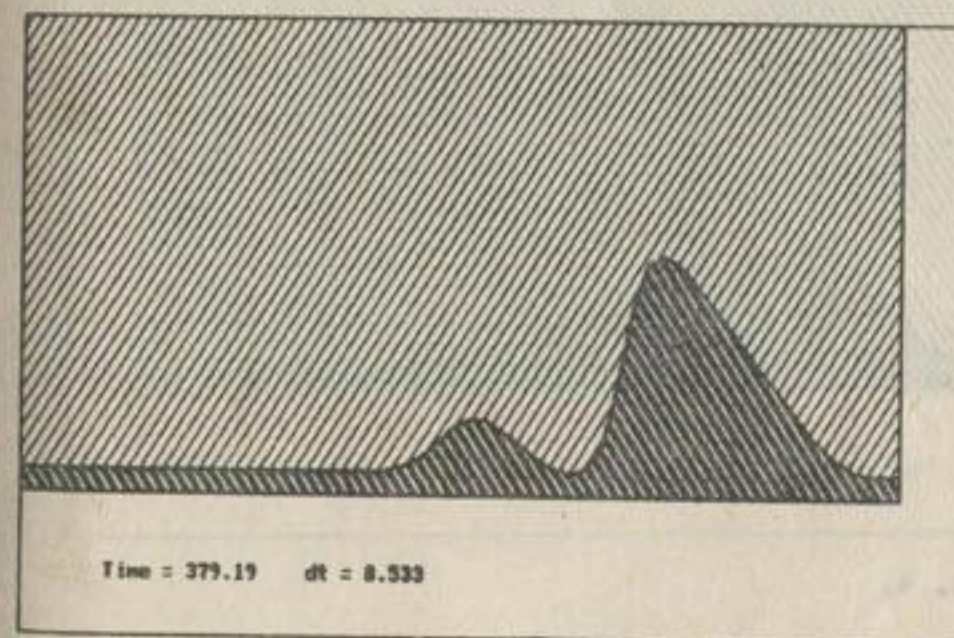


Рис. 2.

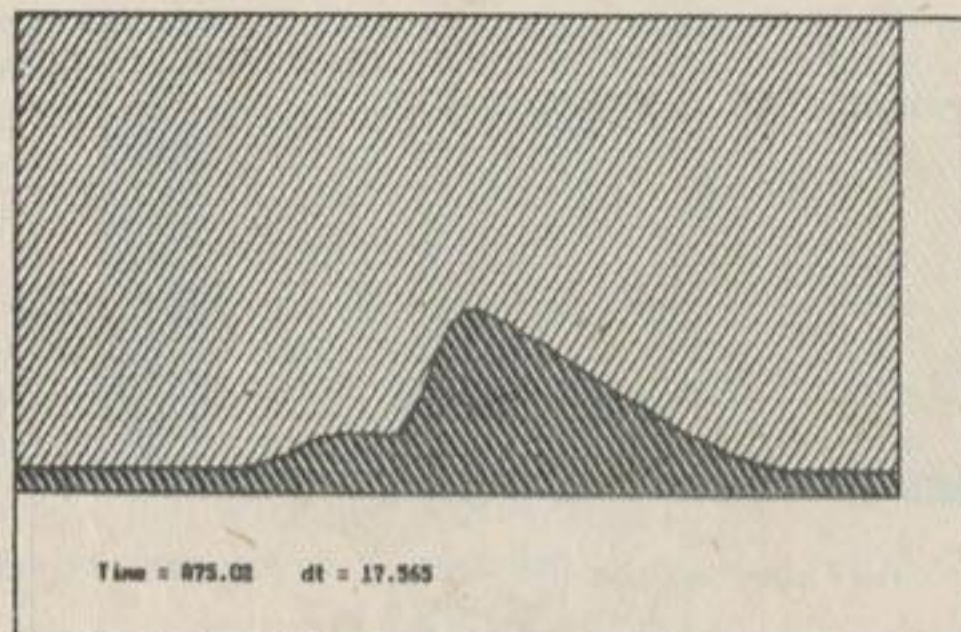


Рис. 3.

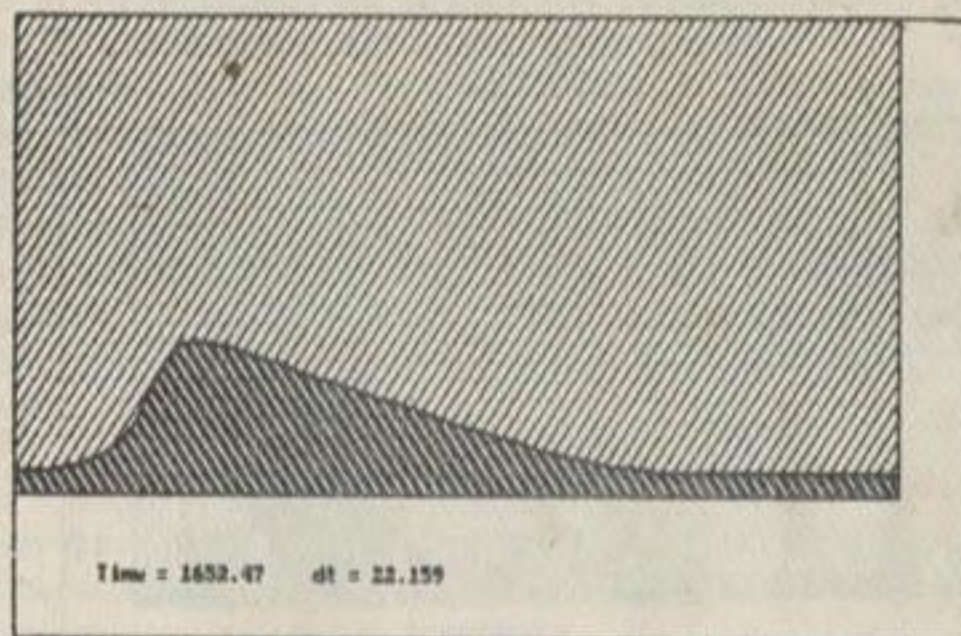


Рис. 4.

Таблица 3

Входной гидрограф (август 1985 г.)

Слияние р. Вахы и р. Пяндж
(гидрографы входного створа и притока)

3134	141	3231	143	3307	106	3381	104	3449	107
3537	110	3563	107	3572	103	3610	103	3638	95
3595	97	3408	97	3360	176	3290	160	3210	115
3100	93	2944	89	2892	84	2816	77	2804	76
2759	78	2678	77	2515	73	2332	70	2188	68
1984	63	1804	57	1661	53	1564	50	1513	48
1491	48								

Таблица 4

Гидрограф притока

Участок	Приток, м ³ /с	Минерализ, г/л	Водозабор, м ³ /с
г. Каракумского канала	8,9	3,3	57,2
г. Каршинского канала	3,2	3,4	429
п. Керки	1,1	2,1	173
г. Анубухарского канала	28,8	2,0	137
п. Ильчик	2,1	2,6	267
ст. Дарганата	51,2	2,6	1,16
Тяньжунский Г/У	2,4	4,7	8,21

Таблица 5

Результаты расчета трансформации паводка и переноса
растворенной компоненты по участкам р. Амударья

Омх(1)	С(1)	Омх(2)	С(2)	Омх(3)	С(3)	Омх(4)	С(4)	Омх(5)	С(5)	Омх(6)	С(6)	Омх(7)	С(7)	Омх(8)	С(8)
3229.76	0.60	3130.20	0.61	2696.62	0.61	2522.96	0.61	2742.87	0.62	2640.20	0.62	2916.34	0.63	3009.30	0.62
3337.22	0.60	3218.29	0.61	2773.30	0.61	2693.86	0.61	2572.59	0.62	2379.44	0.62	2621.04	0.65	2745.88	0.64
3394.07	0.60	3295.77	0.61	2836.39	0.61	2677.60	0.61	2551.31	0.63	2297.65	0.63	2440.09	0.66	2520.51	0.66
3462.26	0.60	3364.53	0.61	2924.85	0.61	2747.41	0.61	2584.83	0.63	2305.32	0.63	2374.57	0.67	2403.62	0.66
3532.84	0.60	3434.38	0.61	2994.53	0.61	2817.04	0.61	2639.12	0.63	2349.18	0.63	2378.35	0.67	2372.53	0.67
3619.21	0.60	3513.11	0.61	3071.33	0.61	2893.11	0.61	2704.44	0.63	2409.26	0.63	2418.28	0.67	2393.01	0.67
3657.85	0.60	3573.85	0.61	3137.43	0.61	2961.22	0.61	2775.96	0.63	2478.98	0.63	2477.45	0.67	2441.76	0.67
3670.98	0.60	3606.20	0.61	3175.14	0.61	3001.06	0.61	2836.55	0.63	2545.19	0.63	2544.09	0.67	2504.86	0.67
3703.03	0.60	3634.44	0.61	3202.88	0.61	3028.69	0.61	2879.39	0.63	2595.50	0.63	2604.14	0.67	2568.43	0.67
3725.93	0.60	3660.79	0.61	3230.02	0.61	3056.11	0.61	2913.54	0.63	2633.50	0.63	2651.45	0.67	2621.88	0.67
3760.19	0.60	3680.11	0.61	3255.70	0.61	3084.23	0.61	2938.78	0.63	2663.47	0.63	2688.69	0.67	2664.22	0.67
3852.66	0.60	3800.13	0.61	3173.13	0.61	3008.40	0.61	2935.31	0.63	2674.37	0.63	2713.82	0.67	2696.12	0.67
3840.22	0.60	3820.54	0.61	3103.39	0.61	2935.08	0.61	2887.03	0.63	2642.93	0.63	2710.03	0.67	2706.78	0.67
3472.52	0.60	3466.99	0.61	3052.25	0.61	2884.65	0.61	2835.25	0.63	2592.98	0.63	2675.72	0.67	2686.13	0.67
3362.46	0.60	3382.84	0.61	2974.84	0.61	2809.86	0.61	2777.55	0.63	2539.22	0.63	2628.01	0.67	2645.70	0.67
3237.01	0.60	3273.85	0.61	2870.55	0.61	2707.47	0.61	2700.46	0.63	2471.02	0.63	2571.47	0.67	2594.23	0.67
3087.46	0.60	3143.10	0.61	2744.83	0.61	2583.72	0.61	2602.40	0.63	2382.92	0.63	2498.10	0.67	2529.15	0.67
3006.46	0.60	3033.68	0.61	2628.99	0.61	2465.57	0.61	2489.92	0.63	2276.83	0.63	2406.60	0.67	2447.05	0.68
2924.54	0.60	2944.19	0.61	2536.90	0.61	2372.35	0.61	2384.65	0.63	2169.35	0.63	2304.07	0.68	2350.52	0.68
2892.63	0.60	2883.80	0.61	2469.38	0.61	2302.11	0.61	2293.70	0.63	2072.52	0.63	2203.38	0.68	2250.07	0.68
2852.82	0.60	2839.20	0.61	2422.78	0.61	2254.61	0.61	2223.47	0.63	1993.35	0.63	2113.52	0.68	2155.69	0.68
2783.02	0.60	2784.25	0.61	2371.29	0.61	2204.38	0.61	2166.72	0.63	1931.00	0.63	2039.26	0.68	2074.30	0.69
2645.07	0.60	2686.88	0.61	2286.66	0.61	2123.86	0.61	2106.34	0.63	1073.30	0.63	1976.59	0.69	2006.25	0.69
2475.59	0.60	2552.84	0.61	2159.97	0.61	2000.92	0.61	2022.60	0.63	1801.65	0.64	1913.26	0.69	1943.78	0.69
2324.90	0.60	2405.93	0.61	2015.11	0.61	1857.04	0.62	1911.59	0.64	1704.98	0.64	1835.26	0.69	1874.09	0.70
2137.70	0.60	2243.97	0.61	1859.31	0.62	1703.59	0.62	1783.66	0.64	1580.02	0.64	1737.60	0.70	1787.98	0.70
1955.42	0.60	2072.29	0.61	1691.14	0.62	1536.93	0.62	1641.62	0.64	1456.33	0.65	1623.32	0.71	1684.84	0.71
1799.92	0.60	1909.40	0.61	1527.18	0.62	1372.72	0.62	1491.36	0.65	1314.10	0.65	1496.13	0.72	1567.50	0.72
1682.58	0.60	1769.94	0.62	1382.60	0.62	1226.29	0.62	1343.45	0.65	1169.30	0.65	1361.27	0.72	1440.33	0.73
1607.14	0.60	1662.43	0.62	1267.01	0.62	1107.64	0.62	1200.03	0.66	1051.45	0.66	1226.19	0.73	1309.31	0.74
1565.47	0.60	1587.83	0.62	1183.51	0.62	1020.63	0.62	1092.39	0.66	908.26	0.66	1098.22	0.75	1181.28	0.75

приведены различные фазы трансформации паводков.

Хорошо видно, как паводки принимают характерную асимметричную форму, причем больший паводок нагоняет меньший. Этот факт говорит о соответствии модели реальному потоку, а также позволяет отказаться от использования дополнительных расчетных уравнений для определения времени добегания, которое зависит от величины расходов воды.

В качестве реального объекта была выбрана р. Амударья.

Ствол реки разбит на восемь участков:

Слияние р. Вахш и р. Пяндж	- ст. Термез
ст. Термез	- г. Каракумского канала
г. Каракумского канала	- г. Каршинского канала
г. Каршинского канала	- п. Керки
п. Керки	- г. Амубухарского канала
г. Амубухарского канала	- п. Ильчик
п. Ильчик	- ст. Дарганата
ст. Дарганата	- Туялмунский гидроузел

Для этих участков использованы следующие исходные данные:

табл. 2 - коэффициенты по участкам рек;

табл. 3, 4 - исходные гидрографы притоков и водозабора.

Результаты расчета приведены в табл. 5.

На основании полученных результатов можно сделать следующий вывод:

1. Сброс минерализованных вод в реку повышает общую минерализацию воды в реке от отбора к отбору в первую очередь в нижнем течении, которая накапливается не столько за счет повышенных концентраций, сколько в результате общего повышения количества сбросов.
2. Использование расчетов по предложенной модели позволяет оценивать процессы солепереноса по стволу реки и прогнозировать минерализацию речной воды в нижнем течении реки при известном водопользовании в среднем и нижнем течении.

Список использованной литературы

1. Денисов Ю.М. Общие принципы математического моделирования трансформации речных паводков// Метеорология и гидрология.-1976.-№3.
2. Конж А. Численные методы в задачах речной гидравлики.- М.: Энергоиздат.-1985.
3. Рубинова Ф.Э. Влияние водных мелиораций на сток и гидрохимический режим рек бассейна Аральского моря// Труды САНИГМИ,- вып. 124(205).-1987.

А.С.Викторов
(ВСЕГИНГЕО)

НЕКОТОРЫЕ ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ВОСТОЧНОГО ПРИАРАЛЯ

Территория восточного Приаралья является ареной развития разнообразного комплекса процессов изменения геологической среды, формирующихся под влиянием понижения уровня Арала и других факторов (сброс коллекторно-дренажных вод, самоизлив скважин). Настоящая статья посвящена лишь некоторым процессам из названного комплекса, которые недостаточно освещены в литературе.

Материалом для данной работы послужили результаты исследований ВСЕГИНГЕО по изучению изменений геологической среды восточного Приаралья дистанционными методами. Исследования включали: дешифрирование черно-белых и спектрально-информационных космических снимков разных лет (1974–1989 гг.), дешифрирование материалов повторной аэрофотосъемки и наземные ландшафтно-индикационные исследования, сопровождавшиеся бурением, отбором проб воды и грунта. Это дало возможность составить предварительные карты динамики геологической среды юго-восточного Приаралья и предварительную карту состояния геологической среды зоны сплошной осушки.

Наиболее сильные изменения геологической среды происходят на площадях, входивших в акваторию моря. Здесь преобладают следующие процессы:

- падение уровня грунтовых вод;
- уменьшение влажности почвогрунтов;
- увеличение засоления почвогрунтов;
- золотой перенос песчаных и солевых частиц.

Иногда к комплексу перечисленных процессов добавляется локальное формирование полигональной трещиноватости грунтов в результате их обсыхания и, вероятно, в некоторой степени, кристаллизации солей.

Площади, где наиболее развиты эти процессы, выделяются на черно-белых и спектрально-информационных космических снимках по светлому фототону с неясно выраженными пятнами микроструктуры, местами с малоконтрастными белыми вкраплениями вытянутой формы. На аэрофотоснимках эти участки выделяются по сочетанию вытянутых конту-

ров серого гомогенного фототона, светло-серого фототона с темным краем и белых вытянутых контуров с гомогенной или концентрической микроструктурой.

Описанные площади представляют собой сочетание ровных или нанобугристых поверхностей с солевыми выпветами, практически лишенных растительности, выровненных песчаных пространств с пятнами горанинови и солянок с единичными крупными кустарниками (тамарикс, черный саксаул), корковых солончаков с каймой однолетних солянок, барханных песков. Уровень грунтовых вод на этих площадях упал до 1,5–2,5 м. Наибольшие изменения уровня характерны для песчаных участков, наименьшие – для солончаковых. Наземные наблюдения показывают признаки текущих эоловых процессов. Около даже небольших препятствий, вплоть до обломанных веток крупных кустарников, образуются эоловые косички. Это позволяет предположить, что данные участки являются очагами интенсивного эолового выноса как песчаных, так и солевых частиц. Причем, как показывают наши исследования, в качестве таких очагов следует рассматривать не только площадь сплошной осушки (25–30-километровая полоса от современного Арала), но и многочисленные рассеянные очаги в виде частиц бывших заливов архипелага Амлетки. Возможно, что именно эти участки играют большую роль в изменении геологической среды восточного Приаралья, так как вдаются в его территорию, и поэтому оказываются ближе к основной части территории, чем зона сплошной осушки.

Дешифрирование материалов повторных дистанционных съемок показывает, что участки с рассматриваемыми комплексами процессов возникали постепенно. Судя по спектрально-информационным КИС, к 1974 г. рассматриваемый комплекс процессов изменения уровня грунтовых вод, засоления и дефляции возник лишь на той части выделенных на карте контуров, которая расположена к востоку от Ататкан. Понижения, лежащие западнее этого острова, были заполнены водой и названный комплекс процессов развивался лишь местами по их краям. Полоса же, охваченная рассматриваемым комплексом процессов и прилегавшая к основной части акватории моря, была узкой, её средняя ширина составляла около 1 км.

Отсюда можно сделать вывод, что на более ранних стадиях регрессии моря центр дефляции солей и песчаных частиц смещался на восток, и именно там возникшие эоловые потоки оказывали воздействие на геологическую среду юго-восточного Приаралья. Это

обуславливалось концентрацией очагов выноса на площадях, лежащих восточнее о. Ататкан, увеличением полосы обсыхающего дна вдоль основной акватории Арала.

Разновидностью описанных выше площадей с развитым комплексом процессов обсыхания, засоления и дефляции являются близкие по типу площади, но с преобладанием мелких изолированных водоемов, где резко увеличена минерализация поверхностных вод и осадка солей из раствора. На космофотоснимках они представлены в виде светлого фототона с вкраплением не ясных, более темных пятен и очень темного крапа округлой или слабо вытянутой формы (около 0,2–0,3 мм).

Значительную роль на исследуемой территории играет несколько иной тип изменения геологической среды. В пределах юго-восточного Приаралья широко представлены площади, где доминирует процесс засоления почвогрунтов (вплоть до формирования гипсовых кор) и процесс падения уровня грунтовых вод до 3–4 м. Гипсовая кора – это своеобразные отложения из кристаллического гипса, сформировавшиеся под влиянием обсыхания мелководных бассейнов.

Участки, где наиболее развит описанный комплекс процессов на черно-белых космофотоснимках, имеют два типа изображения. Первый – характеризуется серым фототонем с гомогенной микроструктурой, второй – темно-серым фототонем с ячеистой или полосчатой микроструктурой с обильными вкраплениями округлой или округло-удлиненной формы, беспорядочно расположенными.

На аэрофотоснимках такие участки представляют собой площади округлой формы с гомогенным серым рисунком, местами более светлого контура (размер 1–3 мм) и редким черным крапом, или в виде ячеистого рисунка с темно-серым фоном и серыми гомогенными вкраплениями округлой формы.

На местности комплекс процессов формирования коры и падения уровня грунтовых вод может быть идентифицирован с помощью двух ландшафтных индикаторов. Первый представляет собой ровную или микробугристую поверхность, сложенную кристаллическим гипсом, с господством хорошо развитых экземпляров черного саксаула. Вторым индикатором является сочетание бугристо-ячеистых закрепленных песков с преобладанием сообществ полын, эфедр и псаммофильных кустарников (черкез, черный саксаул) и округлых понижений с ровной или микробугристой поверхностью с разреженными

ми, хорошо развитыми экземплярами черного саксаула.

Индикационное значение указанных природно-территориальных комплексов подтверждается наземными данными. В них, в частности, отмечаются кольцевидные танатоценозы тамарисчатников, фиксирующие древний уровень залегания вод. Весьма часто пробуренные скважины вскрывали толщу гипса мощностью до 3 м, что подтверждает процесс образования настоящих гипсовых кор. Современный уровень грунтовых вод, вскрытый скважинами, позволяет обосновать приведенную выше величину изменения уровня грунтовых вод. Наряду с этим выросла и минерализация грунтовых вод.

Результаты полевых исследований показывают сложную геодинамическую ситуацию на рассматриваемых участках. Так, наряду с описанными процессами, на рассматриваемом типе территории происходит (или недавно происходил) процесс разрушения образовавшихся отложений денудационными, прежде всего, эоловыми, процессами. На это указывают небольшие бугры на дне понижений, сложенные преимущественно гипсом или сильно огипсованными породами. В ряде случаев находящиеся в пределах одного понижения разобщенные бугры имеют отчетливую, весьма сходную слоистость. Этот факт заставляет рассматривать такие бугры как останцы какой-то единой, существовавшей в пределах понижения поверхности.

Отсюда можно предположить, что площади, где рассматриваемый комплекс процессов наиболее развит, также являются (или недавно являлись) очагами выноса солей, прежде всего гипса, на территории юго-восточного Приаралья.

Однако эти предположения носят предварительный характер и будут подвергаться проверке и уточнениям в процессе дальнейших исследований.

В юго-восточной части Приаралья повсеместно встречаются площади с развевавшимися торфяными отложениями. Проведенные нами исследования позволили выявить обширные участки, где поверхность сложена тростниковым торфом мощностью до 1 м. Торфяные массивы в настоящее время теряют свою монолитность, расчленяются, сокращая свои очертания, и являются источниками эолового переноса торфяных частиц. Подобный тип изменения геологической среды развит по периферии многочисленных понижений – бывших морских заливов – преимущественно в западной части территории.

На космофотоснимках, как черно-белых, так и спектрально-информационных, рассматриваемые участки представлены темными полосами шириной до 0,5 мм, окаймляющими обширные контуры светлого фототона

и контуры темного фототона (цвета) со светлой каймой. Сходное отображение участков с разрушающимся торфяным ковром и на материалах аэрофотосъемки.

Наземные исследования показывают, что на местности описываемые участки представляют собой небольшие повышения (до 0,7 м), сложенные торфом, почти лишенные растительности. На поверхности участков наблюдаются микронеровности, причем в днищах микропонижений нередко вскрываются пески, которые подстилают торфяную толщу. В пределах участков распространены единичные экземпляры низкорослого тростника и курая.

По данным буровых работ, грунтовые воды на участках с торфяными отложениями вскрываются на глубине 3,5–5 м. Поскольку торфяные отложения образовывались в водной среде в условиях тростниковых плавней, можно заключить, что уровень грунтовых вод изменялся на рассматриваемых участках в пределах этих цифр.

Площади с данным типом изменения геологической среды в виде узких полос развиты преимущественно в западной части района. Это позволяет сделать предположение, что в восточной части участки с развитыми процессами торфяной дефляции к настоящему времени преобразованы настолько, что торфяные отложения практически разрушены и на снимках отсутствуют их сколько-нибудь заметные следы. Альтернативной гипотезой является представление о том, что в восточной части не было благоприятных условий для развития тростникового торфа. Действительно, наблюдается существенная разница условий – в восточной части нет притока сбросных, относительно слабоминерализованных вод, который идет в западной части со стороны Каратерень, а раньше – из русла Коксу. Окончательно решить вопрос о факторах, обусловивших современное распространение участков дефляции торфа и имеющих существенное значение для определения путей эволюции геологической среды юго-восточного Приаралья, можно будет путем дальнейших исследований.

Таким образом, дистанционные и наземные данные позволяют сделать вывод, что на территории Восточного Приаралья, наряду с другими, происходят специфические процессы разрушения гипсовых кор и дефляции тростникового торфа. В то же время исследования показывают, что участки развевания незакрепленных барханных песков широко распространены только в пределах зоны сплошного осушения (дно Арала). На прилегающей к Аралу территории Кызылкумских песков, вопреки высказываемому некоторыми исследователями мнению, барханные пески крайне редки.

З.Б.Новицкий, канд.с.-х.наук
(СредазНИИЛХ)

ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОЕ ОСВОЕНИЕ ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОСУШЕННОГО ДНА АРАЛА

Биосфера Земли весьма ранима, и если нарушаются известные связи, то ещё вчера благодатные пространства превращаются в пустыню. Так произошло, например, с Аральским морем – естественным испарителем пресной воды в самом центре Азиатского материка, смягчающим его климат. Это бессточное солончатое озеро питали реки Амударья и Сырдарья. Ныне обе великие реки Средней Азии, входящие в число 34 крупнейших водных артерий мира, до Арала не доходят.

Площадь обнажившегося на сегодняшний день дна около 3 млн. гектаров. И эти безжизненные, покрытые соленым песком пространства, расширяются. В Приаралье стали обычными пылевые соленые бури. Ежегодно, по данным лаборатории космического миниторинга Гидрометцентра СССР и Средазгидрометеослужбы, ветер выносит около 72 млн. т соли. Сегодня общее количество солей, выпадающих в год на поверхность почвы в Приаралье, достигает в среднем 520 кг/га. Это послужило одной из причин деградации здесь почвы.

Сегодня остро стоит проблема, как быть с этими огромными территориями, бывшим дном моря? Каким путем их закрепить, чтобы свести к минимуму вынос соли, пыли и песка? Одни специалисты утверждают, что здесь ничего не будет расти, поскольку это мертвая земля, и единственный путь закрепить песок – бетонирование. Однако такое решение и с экологической точки зрения, и с экономической абсурдно.

После обследования обнажившегося дна Аральского моря мы пришли к выводу, что на почвах легкого механического состава можно выращивать защитные лесные насаждения.

По заданию Государственного комитета СССР по науке и технике СредазНИИЛХ ведет работы на осушенном дне Аральского моря с 1981 г. Его лесомелиоративное освоение предполагается путем посадки пустынных пород деревьев и кустарников – саксаула, черкеза, кандыма.

Среднеазиатский филиал института "Совзгипролесхоз" разработал проект закрепления подвижных песков и посадки семян пустынных пород растений на 326 га бывшего дна залива Рыбачий. Мунайский

лесхоз уже проводит эту работу.

После выявления принципиальной возможности облесения осушенно-го дна одним из актуальных является вопрос о технологии создания защитных насаждений, о методах закрепления подвижных песков, угрожающих сельскохозяйственным землям. Закрепление подвижных песков нами испытывалось тремя способами: защита из химических покрытий, изготовленных из смеси сульфитно-спиртовой барды (ССБ) с поливинилацетатной эмульсией; защита из полиэтиленовой пленки и усти-лочная механическая защита. Расстояние между закрепленными рядами 3 м, вдоль которых высаживались сеянцы саксаула, кандыма и черкеза. Как показали испытания, весной 1988 г. наибольшее количество сеян-цев прижилось под полиэтиленовой пленкой. Число прижившихся сеян-цев составило 71-83 %.

Насаждения вдоль различных защитных сооружений предотвращают вынос песка и он аккумулируется в самих посадках. Сравнение различных способов закрепления подвижных песков свидетельствует, что лучшим является вариант с полиэтиленовой пленкой, однако это очень доро-гой способ. На наш взгляд, целесообразно применять устилочную ме-ханическую защиту, а по возможности - и защиту из сульфитно-спир-товой барды и поливинил-ацетатной эмульсии. Такой способ закрепле-ния подвижных песков вполне приемлем, поскольку в первые 1,5-2 го-да песок закрепляется с помощью защитных сооружений, а впоследствии сами растения своими корнями скрепляют песок (табл. I). Этот метод вполне оправдан на голых сыпучих без растительности песчаных рав-нинах или мелкобугристых песках без растительности.

На мелкобугристых песчаных отложениях, заросших растительностью (проективное покрытие 60 %), бывшего залива Мулянский применялись два способа обработки песчаных отложений: чизелем и бороной "зиг-заг", после чего здесь высевали семена кандымов: голова Медузы и мелкоплодный. Заделка семян производилась бороной "зиг-заг". Кон-тролем служил посев семян без обработки песчаных отложений.

В зависимости от способа обработки песчаных отложений скла-дываются различные почвенные условия (при обработке чизелем влаж-ность песка на 4,7 % выше, чем при обработке бороной "зиг-заг"), что сказывается на количестве появившихся всходов. На песчаных от-ложениях, обработанных чизелем, всходов больше, а на песчаных от-ложениях без обработки совсем немного (табл. 2).

Рост пустынных растений вдоль различных видов фиксаторов на мелкобугристых песках бывшего залива Рыбацкий

Вариант смыта	Показатели	Саксаул черный	Черкез Рихтера	Кандым голова Медузы	Итого на 100 м
Посажено в марте 1988 г.					
I Защита из химических в-в (ССБ+ПВА)	Количество, шт.	38	38	25	101
II Защита из полиэтиле- новой плен- ки	Количество, шт.	65	32	74	171
III Устилоч- ная меха- ническая защита	Количество, шт.	15	-	93	108
Прижилось в мае 1988 г.					
I	Количество, шт.	27	29	18	74
II	Количество, шт.	52	27	63	142
III	Количество, шт.	12	-	73	85
Прижилось в сентябре 1988 г.					
I	Количество, шт.	26	29	17	72
	H ± m, см	36,7 ± 1,4	48,4 ± 2,7	42,8 ± 3,4	
	Д кроны ± m, см	29,6 ± 1,4	42,0 ± 2,1	39,7 ± 1,3	
II	Количество, шт.	48	25	60	133
	H ± m, см	55,9 ± 5,4	57,1 ± 3,4	34,6 ± 2,1	
	Д кроны ± m, см	49,8 ± 2,1	42,4 ± 2,0	42,3 ± 1,8	
III	Количество, шт.	12	-	70	82
	H ± m, см	32,1 ± 1,6	-	52,0 ± 1,3	
	Д кроны ± m, см	36,4 ± 1,6	-	57,8 ± 2,2	
Прижилось в сентябре 1989 г.					
I	Количество, шт.	25	28	17	70
	H ± m, см	56,4 ± 2,1	59,7 ± 2,4	60,0 ± 2,3	
	Д кроны ± m, см	61,5 ± 2,7	53,4 ± 2,1	56,1 ± 2,2	

Продолжение таблицы I

Вариант опыта	Показатели	Саксаул черный	Черкез Рихтера	Кандым голова Медузы	Итого на 100 м
II	Количество, шт.	41	23	48	112
	$H \pm m$, см	$69,3 \pm 2,7$	$72,3 \pm 3,6$	$64,7 \pm 2,8$	
	Д кроны $\pm m$, см	$70,0 \pm 3,4$	$63,2 \pm 2,3$	$62,4 \pm 3,0$	
III	Количество, шт.	12	-	67	79
	$H \pm m$, см	$66,3 \pm 2,8$	-	$51,8 \pm 2,9$	
	Д кроны $\pm m$, см	$69,5 \pm 2,9$	-	$65,1 \pm 2,9$	

Таблица 2

Сохранность всходов на среднезаросших песках бывшего залива Муйнакский (посев весной 1987 г.).
Учет проведен 14.09/1987 г.

Способ обработки почвогрунтов	Номер ряда	Кандым голова Медузы			Кандым мелкоплодный		
		Количество, шт.	$H \pm m$, см	Д кр $\pm m$, см	Количество, шт.	$H \pm m$, см	Д кр $\pm m$, см
Бороной "зиг-заг"	I	1350	$61 \pm 2,8$	$57,5 \pm 1,4$	40	$51,9 \pm 4,7$	$53,7 \pm 1,6$
	2	2730	$75,5 \pm 7,9$	$56,5 \pm 1,6$	50	$53,4 \pm 4,6$	$56,5 \pm 1,4$
	Среднее значение	2040	68,3	57,0	45	52,7	55,1
Чизелем	I	3625	$79,5 \pm 3,6$	$69,0 \pm 2,2$	275	$50,0 \pm 2,1$	$53,5 \pm 1,6$
	2	2245	$57,0 \pm 4,4$	$51,0 \pm 1,4$	105	$45,5 \pm 2,1$	$59,5 \pm 2,4$
	Среднее значение	2935	68,3	60,0	190	47,8	56,5
Без обработки почвы (контроль)	I	342	$62,5 \pm 4,5$	$65,0 \pm 2,4$	45	$48,4 \pm 1,6$	$47,4 \pm 1,7$
	2	850	$71,5 \pm 5,2$	$67,0 \pm 2,1$	62	$50,6 \pm 1,3$	$49,3 \pm 1,6$
	Среднее значение	596	67,0	66,0	53,5	49,5	48,4

ПРИМЕЧАНИЕ: Длина учетной ленты 100 м.

здесь по химическому составу благоприятные условия для прорастания семян кандымов, который, как известно, не переносит засоления. Хлора в горизонте 0-5 см содержится 0,08 % (сухой остаток 0,143), 5-10 см - 0,02 (0,152), 10-20 см - 0,035 (0,365), 20-30 см - 0,047 (0,113).

Повторный учет, проведенный осенью 1989 г., показал, что на 100 м в варианте с кандымом сохранилось 392 шт. хорошо развитых растений головы Медузы, у которых $165 \pm 4,4$ см высота стебля и диаметр кроны $124 \pm 3,4$ см. В варианте с обработкой бороной "зиг-заг" сохранилось 121 шт. ($H = 127 \pm 4,3$ и диаметром кроны $95 \pm 3,1$ см). Несколько ниже показатели у кандымов голова Медузы и мелкоплодный, произрастающих на почвогрунте без обработки. На среднезаросших песках вместо бороны "зиг-заг" лучше применять чизель, поскольку "зиг-заг" через каждые 20-50 м забивается растительностью, что требует остановки трактора и очищения её от травянистой растительности. На песчаных отложениях, сильно подверженных дефляции, посев можно проводить под борону "зиг-заг", если нет растительности, но обязательным условием являетсякрытие строчек посева тростником, камышом, высокостебельными травами и т.д. Под прикрытием образуются дружные всходы и семена не подвергаются выдуванию.

Проведенный нами эксперимент показал, что всходов кандыма появляется в 2-3 раза больше, когда строчки прикрыты камышом.

Следовательно, лесомелиоративное освоение прибрежной зоны не только возможно, но и крайне необходимо для улучшения экологической обстановки в регионе. Закрепление на мелкобугристых песках перед началом посева целесообразно проводить с помощью устилочных механических защит или химических фиксаторов. На среднезаросших песках фиксация рельефа не требуется, но обязательна обработка песчаных отложения чизелем, а на песчаных отложениях, подверженных сильной дефляции, строчки посева следует прикрывать высокостебельными травами.

С.В.Мягков
(НПО САНИРИ)

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ВЛАГОПЕРЕНОСА В НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЧВОГРУНТАХ
В УСЛОВИЯХ АНИЗОТРОПНЫХ ПОЧВ

В низовых бассейнах р.Амударьи орошение сельскохозяйственных культур, как правило, производится поливом по бороздам. В этом случае необходимо учитывать количественные изменения влагосодержания в почве, особенно в корнеобитаемой зоне, для которой избыточное (или недостаточное) увлажнение приводит к отрицательным последствиям, что сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. К тому же стратификация почвогрунтов в Хорезмской области неравномерная.

Для качественной оценки влагопереноса в зоне аэрации необходимы следующие условия:

- а) модель должна строиться с учетом стратификации почвы;
- б) численная реализация модели должна давать результаты увлажнения не только по глубине, но и по горизонту.

В большинстве случаев для расчета влагопереноса в ненасыщенной зоне почвогрунтов пользуются допущением о равномерном по площади увлажнении, при котором рассматривается только вертикальная стратификация почвы, что, конечно, оправдывается при соответствующих однородному на некоторой площади увлажнению. Однако этот подход не удобен при расчетах на неравномерно увлажняемых участках, например, при поливе по бороздам, особенно в приповерхностной области зоны аэрации и в корнеобитаемом горизонте. В этом случае определение необходимого для корней растений увлажнения носит усредненный характер.

В данной работе исследуются возможности математической модели влагопереноса в почве, учитывающей как вертикальную, так и горизонтальную стратификацию.

Существует множество расчетных уравнений влагопереноса в ненасыщенной пористой среде. На наш взгляд, удобнее воспользоваться подходом Ю.М.Денисова [1].

Уравнение неразрывности для влаги выглядит следующим образом

$$\frac{\partial \varphi_q}{\partial t} + \frac{1}{(1-\alpha_1)} \operatorname{div} \vec{q}_q = - \frac{\varepsilon_{qn}}{\rho_q (1-\alpha_1)}, \quad (1)$$

где ε_{qn} — количество воды, перешедшее в пар за единицу времени в единицу объема;
 α_1 — относительный объем скелета почвы;
 φ_q — влагонасыщенность почвы, выраженная как

$$\varphi_q = \alpha_q / (1-\alpha_1).$$

В качестве уравнения движения предлагается выражение

$$\vec{q}_q = -K_\theta(\varphi^*) \operatorname{grad} (Z - \Phi), \quad (2)$$

где $K_\theta(\varphi)$ — коэффициент влагопроводности;
 Φ — потенциал почвенной влаги, определяемый по выражению

$$\Phi = M \left(\frac{1 + \sqrt{1-\varphi}}{\varphi} - 1 \right)^m + N \ln \left(\frac{1 + \sqrt{1-\varphi}}{1 - \sqrt{1-\varphi}} \right). \quad (3)$$

Здесь M, m, N — параметры, зависящие от физико-химических свойств почвогрунтов, для определения численных значений которых можно воспользоваться апробированным на натурных наблюдениях методом, предложенным в работе [2]. Для численной реализации вышеизложенной модели представим область почвогрунтов в виде конечного множества элементов известного объема. Уравнения баланса одного элемента запишем

$$(1 - \alpha_{ij}) V_j \frac{d\varphi_j}{dt} = \sum_{i \in A_j} q_{ji}; \quad \forall j \in N, \quad (4)$$

где V_j — объем j -го элемента;
 A_j — множество элементов, граничащих с j -ым элементом;
 q_{ji} — поток влаги, для которого, используя выражение (2), можно записать

$$q_{ji} = \frac{K_\theta}{L_{ji}} \omega_{ji} [(Z_j - Z_i) - (\Phi_j - \Phi_i)], \quad (5)$$

где L_{ji} — расстояние между центрами j -го и i -го элементов;

ω_{ji} — площадь соприкосновения (границы);

Z_j — отметка центра j -го элемента;

Φ_j — всасывающий потенциал j -го элемента, т.е.

$$\Phi_j = M_j \left(\frac{1 + \sqrt{1-\varphi_j}}{\varphi_j} - 1 \right)^{m_j} + N_j \ln \left(\frac{1 + \sqrt{1-\varphi_j}}{1 - \sqrt{1-\varphi_j}} \right). \quad (6)$$

Для решения системы уравнений (4) необходимо задать начальные условия $\varphi_j(0) = \varphi_{j0}$. При таком подходе моделирования влагопереноса в качестве условий на границе области можно задавать как поток влаги $q_{qj} = q_{qj}(t)$, так и влажность $\varphi_t = \varphi_q(t)$.

Автором составлена программа расчета влагопереноса по уравнениям (4), (5), (6), в которой численное решение дифференциальных уравнений производится методом Эйлера. Следует особо остановиться на верхнем граничном потоке, который необходимо задавать во время водоподдачи на поверхность почвы. В этом случае в расчетах предусматривают ограничение потока, способного вызвать аварийную ситуацию вследствие превышения суммарного объема влаги, поступающей в элемент, и максимальной влагоемкости самого элемента на определенный момент времени. Данную ситуацию предлагается исключить следующим образом: подаваемое количество влаги на некоторый элемент, находящийся в верхнем слое почвы, выражать не расходом воды, а некоторым слоем водоподдачи (кстати, широко используемом в практике орошения), т.е. расход воды относить не непосредственно к элементу, а использовать некоторый буферный накопитель. Запишем уравнение баланса для некоторого количества воды, находящейся на верхней границе элемента

$$F_{vj} = \frac{dh_{vj}}{dt} = Q_j^{sp} - q_{vj}, \quad (7)$$

где Q_j^{sp} — расход воды, подаваемой на орошение;
 q_{vj} — расход воды, поступившей в j -ый элемент;
 F_{vj} — площадь контакта j -ым элементом;
 h_{vj} — слой воды над j -ым элементом.

Максимально возможное количество воды $q_{vj} = q_{vj}^{max}$, поступающий в j -ый элемент с поверхности, определяется из следующих соображений.

Используя явную разностную схему для уравнения (4), можно записать

$$\varphi_j^{t+\tau} = \varphi_j^t + \frac{\tau}{(1-\alpha_{ij})V_j} \left[\sum_{i \in A_j} q_{ji}^t + q_{vj}^t \right]. \quad (8)$$

Откуда

$$q_{vj}^t = \frac{\varphi_j^{t+\tau} - \varphi_j^t}{\tau} (1-\alpha_{ij})V_j - \sum_{i \in A_j} q_{ji}^t. \quad (9)$$

Имея в виду, что верхний предел влагоемкости элемента равен единице, т.е. $\varphi_j^{max} = 1$, получим

$$q_{vj}^t = \frac{1-\varphi_j^t}{\tau} (1-\alpha_{ij})V_j - \sum_{i \in A_j} q_{ji}^t. \quad (10)$$

Особое внимание при решении подобных задач уделяется потоку, фильтрующемуся с поверхности почвы в её толщу, т.е. возникают специфические вопросы, связанные с фильтрационной способностью почв. При подаче на ненасыщенные грунты часть воды расходуется на насыщение поверхностного слоя почвы. На расход впитываемой влаги су-

щественно влияет степень увлажнения поверхностного слоя почвы. Использовать в данном случае уравнение Дарси в качестве уравнения движения нецелесообразно, так как оно не учитывает степени влагонасыщенности почвогрунтов. В связи с этим инфильтрационный поток лучше представить в виде некоторого насыщающего потока, зависящего не только от напора воды, но и от влагонасыщенности поверхностного слоя почвы.

Представим поверхностный слой, через который происходит инфильтрация, в виде отдельного элемента, причем такого размера по вертикали, для которого насыщение влагой происходит мгновенно или за известный малый интервал времени. В этом случае можно воспользоваться условием (10), в котором величина напора на поверхности косвенно выражена через поток влаги внутри почвы.

Для расчетов по программе использовались данные, опубликованные в работе [3]

$$K_{\phi} = 0,8, \text{ м/сут};$$

$$d_i = 0,56;$$

$$M = 0,03 \text{ м};$$

$$m = 3,0.$$

Представленная на рис. I динамика скорости потока влаги по глубине почвогрунтов после одноразовой водоподдачи показывает резкое снижение скорости движения влаги в зависимости от глубины её проникновения и времени от окончания водоподдачи, хотя остается заметным волнообразный характер распределения скоростей.

Для реализации модели плоскость почвогрунтов представлялась в виде квадратных (стороны 0,05 м) и треугольных сегментов с учетом кривизны поверхности земли (рис. 2).

Для выбора начальных значений $\varphi_j(0)$ расчеты проводились так, чтобы отсутствовал поток влаги в почвогрунтах при известных условиях на границе области. Численный эксперимент проводился для двух вариантов.

В первом варианте все характеристики почвогрунтов по всему сечению брались одинаковыми. Во втором варианте характеристики почвы в области борозды изменяли таким образом, как если бы почва под воздействием внешних сил подверглась сжатию, влияющему на пористость и коэффициент фильтрации (характеристики почвы в области борозды изменены на 30 %, т.е. $\alpha_i = 0,72$, $K_{\phi} = 0,6 \text{ м/сут}$). В обоих вариантах в борозду подавалась влага, содержащаяся в 0,1-метровом слое воды.

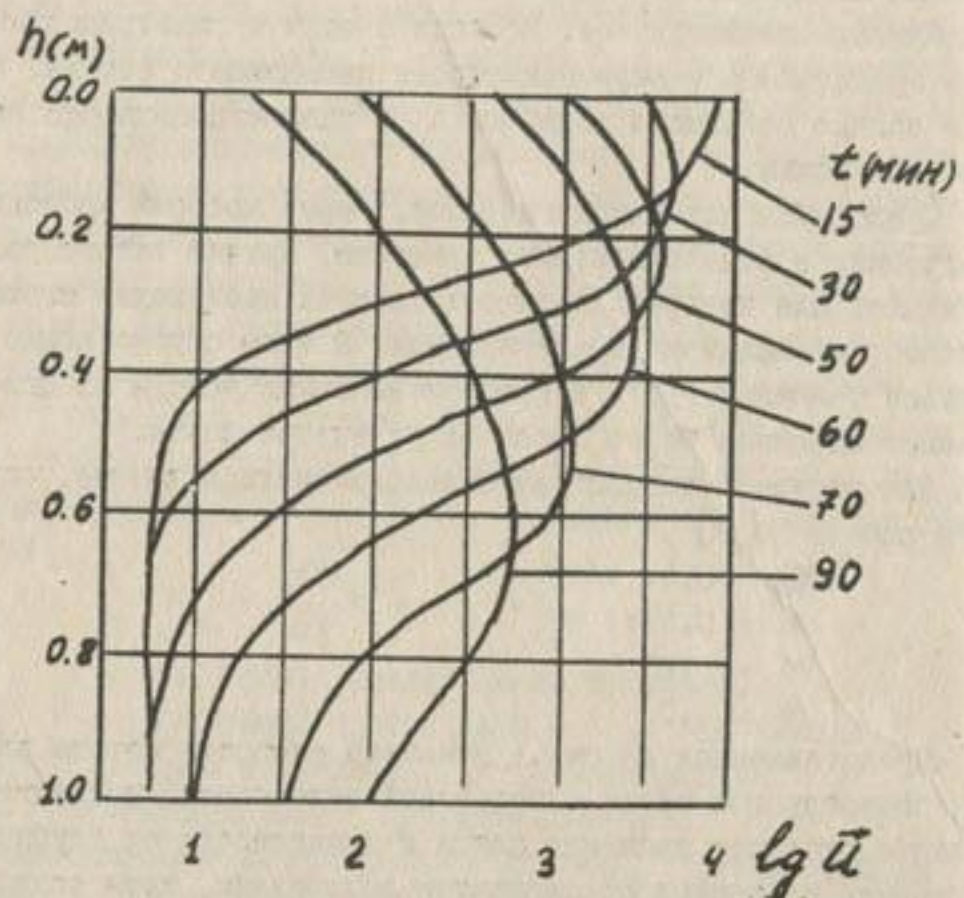


Рис.1. Динамика скорости движения влаги по глубине почвы в интервалы времени от начала полива.

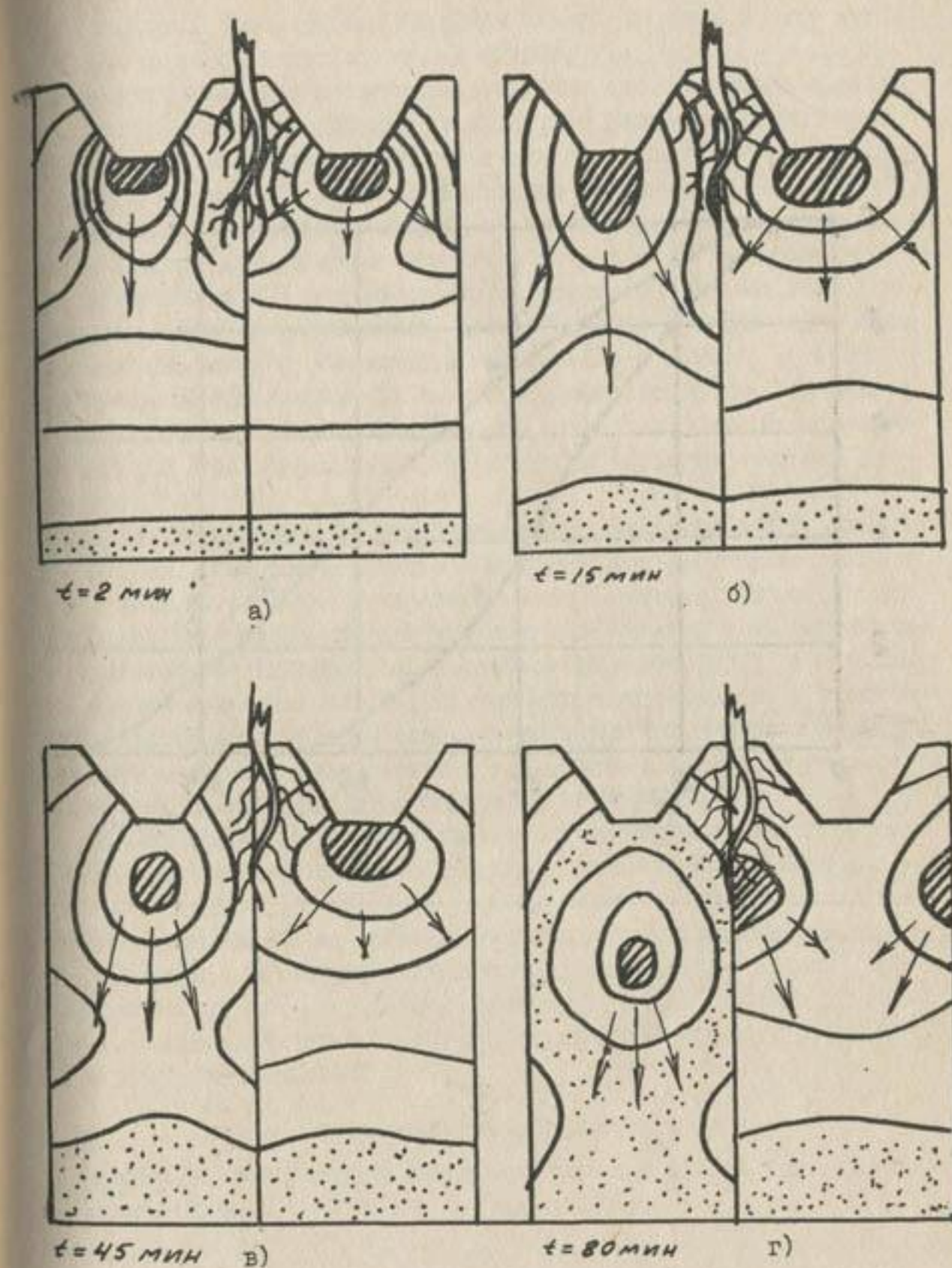
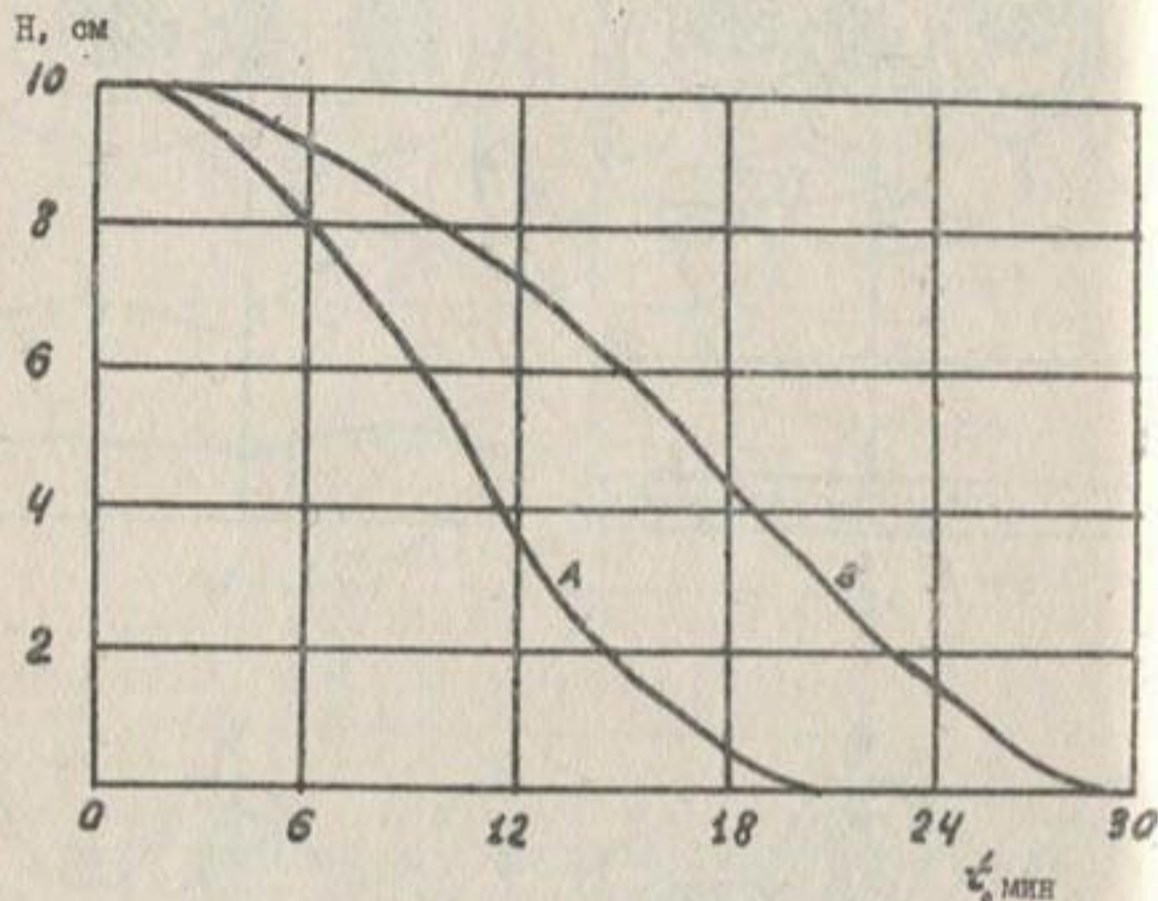


Рис.2. Изолинии влажности просачивания поливной воды по бороздам: слева грунты изотропные, справа - анизотропные.



На рис.2 представлена динамика влажности почвы в виде изолиний. Слева изображены изотропные почвогрунты, справа – подвергшиеся деформации под воздействием внешних сил. Во втором варианте (рис 2,а) заметны различия в характере насыщения почвы через две минуты после водоподачи (стрелками показано направление потока влаги, штрихами – зона максимального увлажнения).

Наблюдается сжатие изолиний в вертикальном направлении. Различия в направлении движения основного потока влаги выражены ещё более значительно. На рис.2в произошёл отрыв зоны максимального увлажнения от поверхности земли, которая движется вертикально вниз, так как вся влага с поверхности уже впиталась почвой, а справа ещё продолжается впитывание влаги. Это обстоятельство отражено и на рис.3. На изотропной почве напор влаги стал равен нулю уже через 21 мин после водоподачи, а во втором варианте – через 28 мин.

Обратим внимание на различие величин максимальной увлажнённости. На рис.2 (второй вариант) заметно боковое растекание влаги и ярче выражены различия в характере влагонасыщения. Справа происходит более равномерное увлажнение почвы по ширине, т.е. поток влаги движется плоским фронтом. Во втором варианте (при $t = 80$ мин) произошло разделение потока, причем максимум влажности приходится на корнеобитаемую область почвы, в то время как в первом варианте максимум влажности находится вне корнеобитаемого слоя и большое количество влаги проходит транзитом в междурядье.

На основании полученных расчетов можно сделать вывод о том, что искусственное уплотнение почвы в области борозды может создать необходимый для растений уровень влажности при снижении количества подаваемой на орошение воды, т.е. когда максимум влажности (исключая естественный максимум на уровне грунтовых вод) приходится непосредственно на корнеобитаемую зону. Повышая КПД орошения, можно значительно сократить водопотребление при орошении по уплотненным бороздам.

Список использованной литературы

1. Бондаренко И.Ф. Физика движения подземных вод. – Л.: Гидрометеопиздат. – 1973.

2. Исламов К.А. Об одном способе поиска оптимальных параметров в задаче влагопереноса в почвогрунтах // Труды САРНИГМИ.-М., 1979.
3. Денисов Ю.М., Сергеев А.И., Гудеева Т.А. Применение математических моделей для оценки водного режима гидромелиоративных систем // Труды САРНИГМИ.-М., 1979.
4. Денисов Ю.М. Математическая модель переноса влаги, тепла и солей в почвогрунтах // Метеорология и гидрология. - № 3.-1978.

Э.Л.Золотарёв, канд.геогр.наук
(СОПС АН УзССР)

КОРЕННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ КАК ОДИН ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТУ СТРОИТЕЛЬСТВА МАГИСТРАЛЬНОГО ПРАВОБЕРЕЖНОГО КОЛЛЕКТОРА

Исследования СОПС по перспективам долгосрочного развития производительных сил Узбекистана и его отдельных регионов выявили особую значимость и сложность решения проблемы питьевого водоснабжения Среднеазиатского региона.

Как показывают разработки СОПС АН УзССР по долгосрочному развитию (до 2020 г.) низовьев р.Амударьи и другие аналогичные исследования, проблема чистоты амударьинской воды, использования месторождений подземных вод (приканальных и др.) артезианских источников может быть частично решена за счет коренного преобразования природопользования в данном бассейне (включая Туркмению, Таджикистан, Киргизию, Южный Казахстан) в направлении максимальной экологизации всех народнохозяйственных отраслей с целью недопущения или максимального предотвращения сбросов в водные источники загрязняющих веществ.

Предлагаемые в настоящее время меры по налаживанию питьевого водоснабжения в бассейне Амударьи, хотя и крайне необходимы, но очень дороги, малоэффективны и, самое главное, не в состоянии обеспечить устойчивого высококачественного питьевого водоснабжения региона в течение длительного периода.

Переход от тотальной химизации хлопкового комплекса к естественно-биологическому с высококачественной технологической обработкой сельскохозяйственных угодий, полноценным внедрением севооборотов и т.д. позволит значительно улучшить существующее положение. Разумеется, учитывая сложность быстрого внедрения данных технологий, на первых порах необходимо осуществить самые неотложные меры по противодействию техногенным факторам, создающим особенно большую угрозу экологии.

Заинтересованным организациям следует вплотную заняться изучением и решением такой исключительно важной проблемы, как влияние метода подземного выщелачивания полезных ископаемых (практикуемого некоторыми предприятиями в Кызылкумах) на состояние окружаю-

щей среды и особенно на запасы подземных вод. Не исключено, что игнорирование последствий этого процесса может привести к непредвиденным и даже необратимым экологическим последствиям: возникновению совершенно новой формы опустынивания — подземного, когда на многие годы, если не на века, все подземные источники, а может быть, даже поверхностные, будут загублены высокоагрессивными и токсичными реагентами, применяемыми при использовании данного метода. В этом случае нужны серьезная научно-исследовательская работа и тесный контакт с соответствующими организациями для получения необходимой информации. Если нельзя обойтись без данного метода, должна быть разработана технология, позволяющая улавливать продукты выщелачивания без опасности загрязнения ими подземных источников, т.е. технология "замкнутого цикла".

Серьезную озабоченность вызывают и перспективы использования для питьевых целей Капарасского водохранилища. Предложений по решению данной проблемы нет пока ни у научных работников, ни у проектировщиков, ни у производителей, и это, по-видимому, не случайно. Разработанный в САНИИРИ прогноз минерализации воды в Капарасском водохранилище, на наш взгляд, не дает точной картины. Если исходить из современной минерализации амударьинской воды, то, разумеется, прогнозная, оцененная САНИИРИ величина минерализации, равная 1,03 г/л, характеризует эту воду как сверхпресную. Однако можно ли такую минерализацию считать допустимой, если она превышает предельный уровень, определенный санитарными органами (пусть даже на незначительную величину)?

Присоединяясь к опасениям Узкомунинжпроекта о том, что минерализацию воды в Капарасском водохранилище невозможно будет удержать даже на таком уровне (в связи с испарением воды из самого водохранилища она возрастет до 1,15 г/л), хотелось бы отметить и ещё один важный момент. По прогнозным данным САНИИРИ, Капарасская вода до прогнозного уровня будет сохранять минерализацию в пределах нормы или чуть больше её. Однако нам абсолютно неизвестно, как будет меняться минерализация в течение года. Может случиться так, что в определенный период минерализация окажется значительно выше нормы (что абсолютно недопустимо), в другое время — ниже. В целом же при подсчете среднестатистических данных (как это обычно делается), будет считаться, что население в данном году пило воду в пределах допустимых норм. При таком подходе

отнюдь не исключается возможность залпового аварийного спуска в Амударью значительных объемов коллекторных стоков, что, впрочем, и предусмотрено одним из предпроектных вариантов строительства правобережного магистрального коллектора. Подобная позиция не может быть признана приемлемой — для местного населения будет слабым утешением то, что оно будет пить недопустимо испорченную воду лишь ограниченное время, а в остальное — сравнительно нормальную, все равно это неминуемо отразится на его здоровье.

Подобная искаженная картина обусловлена, на наш взгляд, довольно устойчивой порочной практикой современного природопользования, основанного на стремлении достигнуть в обязательном порядке предельных величин в изъятии и использовании ресурсов, лишь бы не была перейдена предельно допустимая грань (в данном случае, норматив минерализации). Это в полной мере относится и к другим видам хозяйствования. Именно такое стремление работать "на пределе", "у грани" и порождает частые срывы и нарушения в современном природопользовании.

Применительно к данной конкретной ситуации нельзя не отметить и ещё одно упущение некоторых исследователей, которые наверняка знают, что минерализация воды по ГОСТ "вода питьевая", равная 1 г/л, — это предельно допустимая, а не нормальная минерализация, и такую воду можно пить лишь ограниченное время в году (1–2 месяца). В остальной же период минерализация питьевой воды должна быть гораздо ниже (0,3–0,5 г/л). Поэтому нам кажется абсолютно неправильной точка зрения, при которой считается, что при достижении в Капарассе минерализации воды на уровне 1 г/л проблема питьевого водоснабжения региона будет решена. К сожалению, это лишь паллиатив — временная мера. В дальнейших научных и проектных проработках нужно добиваться более полноценного решения данного вопроса.

Существует мнение, что питьевое водопотребление тем лучше, надежнее и эффективнее, чем больше его удельная норма. Исходя из этого, едва ли не все исследователи и проектировщики строят свои расчетные прогнозы на основе программно-целевого подхода, предполагающего достижение во что бы то ни стало современного нормативного уровня (в данном случае — современной нормы водопотребления, в условиях жаркого климата равной 500–600 л/сут). С этим можно было бы согласиться, если бы не два обстоятельства. Во-первых, регион давно находится на положении остродефицитного по воде и вряд ли такое положение изменится в обозримом будущем, скорее всего, оно ещё больше обострится. Во-вторых, принятые в нашей стране нормы удельного во-

допотребления не соответствуют нормам передовых стран, они вытекают опять-таки из пресловутого остаточного принципа (было мало — стало больше). По существу, это ни что иное, как молчаливое согласие с огромными потерями воды в быту из-за несовершенства качества и работы водопроводной сети, как попытка компенсировать низкое качество и эффективность использования питьевой воды за счет количества. Разумеется, такая подмена ни в коей мере не решает проблемы питьевого водоснабжения региона.

Ту же картину мы наблюдаем и в орошаемом земледелии региона, когда зачастую на плохо мелиорированное поле поступает вода настолько низкого качества, что никакой её избыток не компенсирует недостаток качества. Это неминуемо оборачивается чрезвычайно низкими урожайностью и качеством сельскохозяйственной продукции. Следует, на наш взгляд, отказаться от уже утвержденных нормативов и выработать новые, соответствующие сложившейся ситуации. В конце концов, важно не то, сколько воды потребляет тот или иной житель для питьевых и хозяйственных нужд, а насколько эффективно он её расходует.

Нельзя обойти молчанием и тот факт, что в исследованиях по нормализации питьевого водоснабжения региона отсутствует должный интерес к проблеме очистки питьевой воды от токсичных ядохимикатов и удобрений. С молчаливого согласия большинства разработчиков принято считать, что, если минерализация питьевой воды находится на нормативном уровне, она вполне пригодна для питья. Между тем, не менее опасна вода, вполне нормальная с точки зрения наличия в ней солей, однако "напичканная" ядохимикатами до степени, многократно превышающей допустимые пределы.

Вряд ли такое отношение обусловлено незнанием пагубных последствий этого вида загрязнения. Скорей всего, это следствие признания безысходности сложившейся ситуации, по крайней мере, на современном этапе регионального природопользования.

Главный путь решения проблемы качества воды — коренная перестройка всей системы регионального орошаемого земледелия в направлении отхода от тотальной химизации хлопководства и перехода на экологически чистые способы ведения сельского хозяйства, увеличения применения органических удобрений при частичном использовании перспективных, более эффективных и менее токсичных химических аналогов. Разумеется, это долгосрочная, стратегическая цель, но от

неё уходить нельзя, рассчитывая, что проблему может решить лишь строительство проектируемого правобережного коллектора. Последнее является лишь "пожарной", экстренной и, по-видимому, единственной в настоящее время мерой, способной существенно улучшить качество амударьинской воды — как в плане минерализации, так и по загрязненности ядохимикатами и удобрениями.

Исходя из сказанного, коренную перестройку работы всей системы регионального природопользования следует рассматривать как важный альтернативный вариант предлагаемому проекту строительства правобережного коллектора, несмотря на высокую стоимость природоохранных мероприятий в бассейне р. Амударьи. Более того, учитывая исключительно напряженную экологическую обстановку в регионе (низовья Амударьи признаны зоной экологического бедствия), необходимо осуществлять эти два варианта одновременно. И в этом смысле они могут считаться не альтернативными, а дополняющими друг друга.

В.И.Приходченко
(НПО САНИРИ)

К ВОПРОСУ УЛУЧШЕНИЯ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ

Узбекистан относится к аридной зоне, характеризующейся недостаточной обеспеченностью природной водой и испарением, во много раз превышающим осадки, а также широко распространенными явлениями первичного и вторичного засоления почво-грунтов и грунтовых вод, водной и ветровой эрозии почв, что отражается на качестве воды в водоемах.

В настоящее время объем используемых водных ресурсов региона на 20-25 % превышает запасы 90 %-ной обеспеченности. Дефицит воды в отдельные маловодные периоды покрывается за счет повторного использования минерализованных коллекторно-дренажных вод.

Речной сток практически полностью рассеивается сразу же по выходе из гор в результате интенсивного водозабора (на орошение, промышленные и коммунальные нужды), а затем вновь формируется за счет возвратных, дренажных и всех видов сточных вод (промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых), что осложняет проблему обеспечения питьевой водой, отрицательно сказывается на здоровье населения, а также продуктивности животноводства и рыбоводства.

Кроме общеизвестных (повсеместно распространенных) в водоемы Узбекистана поступает большое количество продуктов водной и ветровой эрозии почв. Это почвенные нитрозамины (более 30 соединений), образующиеся в результате взаимодействия минеральных азотных удобрений с почвенным гумусом. Большая часть этих соединений при длительном употреблении оказывает канцерогенное действие. Барьерная роль водопроводных очистных сооружений по отношению к этим сложным органическим соединениям невелика (10-20 %).

Для коммунального водоснабжения Узбекистана широко используются реки, каналы, водохранилища и подземные воды.

Необходимо отметить, что подземные воды в Узбекистане как таковые отсутствуют. Их запасы формируются в результате инфильтрационных потерь из поверхностных водотоков (рек, каналов, с орошаемых площадей), являются частью этих ресурсов и зависят от их качества.

Санитарно-гигиенические исследования, проведенные в ряде об-

ластей Узбекистана, показали, что качество грунтовых вод часто не соответствует требованиям, предъявляемым к питьевой воде по химическим и бактериальным показателям. Не гарантированы от загрязнения и глубокие подземные воды.

Одним из путей решения вопроса обеспечения населения питьевой водой является использование гидротехнических сооружений — водохранилищ, предназначенных в основном для целей ирригации, энергетики, судоходства.

Водное хозяйство УзССР насчитывает 22 водохранилища, которые используются для орошения, получения электроэнергии, развития рыбного хозяйства, промышленного и санитарно-бытового водопользования, транспортных целей, водопоя скота, водного спорта и купания, спуска сточных вод (коммунальных, промышленных и коллекторно-дренажных) и т.д. При таком разнообразном использовании водохранилищ вода в них загрязняется.

Водоохранилища уменьшают скорость течения рек, самоочищающая способность их снижается, что приводит к накоплению в воде различных загрязнителей. Органолептические свойства воды (цвет, вкус, запах), химическое и бактериальное качество ее в водохранилищах обычно хуже, чем в незарегулированных реках, а по ряду химических загрязнителей приближается или даже превышает ПДК для водоемов.

При поступлении в водоем сточных вод различного состава происходят разнообразные реакции взаимодействия их компонентов с речными, в результате чего образуются новые продукты с новыми свойствами. Направленность этого процесса практически непредсказуема. При поступлении в реку большого объема разнообразных сточных вод могут образовываться особо токсичные соединения, что приводит к синергизму, т.е. усилению вредного воздействия на самоочищающую способность водоема и накоплению в нем токсичных для человека веществ.

При взаимодействии ионов цветных и тяжелых металлов с органическими кислотами, в частности с природными гуминовыми и фульвокислотами, распространенными в водоемах Узбекистана, образуются токсичные комплексы, однако специальных исследований не проводилось.

В настоящее время ни один источник водоснабжения Узбекистана не имеет зон санитарной охраны по II, III и IV поясам, не для всех водоемисточников организована санитарная охрана даже по I поясу. Качество воды почти во всех водоемисточниках не отвечает требованиям ГОСТ.

Запасы воды эксплуатируемых водоемисточников не удовлетворяют

потребностей населения. Дефицит водопроводной воды обуславливает напряженную санитарно-эпидемиологическую обстановку, антисанитарное состояние объектов общепита, детских и лечебных учреждений, сдерживает развитие сферы услуг и т.д.

Централизованным питьевым водоснабжением в Узбекистане обеспечено 110 населенных пунктов. В связи с высоким уровнем загрязнения водоемных источников требуется сложный комплекс очистных сооружений (для водоемов третьей категории). Из всех водопроводов Узбекистана лишь на Кадырыинском (для водоснабжения г.Ташкента) осуществляется соответствующая очистка воды (коагулирование, отстаивание, фильтрование, хлорирование). На остальных водопроводных сооружениях в лучшем случае выполняются отстаивание и хлорирование, что не всегда обеспечивает очистку воды до уровня требований, предъявляемых к качеству питьевой воды по химическим и бактериологическим показателям.

Кроме того, ошибки в проектировании, отклонения при строительстве, небрежности в эксплуатации, недостатки в санитарной охране или лабораторном контроле могут вызвать ухудшение качества питьевой воды и вспышку водных инфекций.

Многочисленная потребность в квалифицированных кадрах обслуживающего персонала для водопроводных очистных сооружений не оставляет надежды на быстрое её удовлетворение.

Переход к использованию наиболее надежных в санитарном отношении подземных водоемных источников, особенно необходимый в специфических условиях Узбекистана в связи с развитием поливного земледелия и повсеместного сельскохозяйственного загрязнения поверхностных вод, осуществляется значительно медленнее, чем в европейской части страны, и неравномерно, в последние годы в некоторых областях республики он даже замедлился из-за повышения минерализации подземных вод.

Существующая система коммунального водоснабжения населения Узбекистана морально и физически устарела и нуждается в постепенной замене многих водозаборных сооружений и водоемных источников.

Особенно неблагоприятная ситуация сложилась в сельском водоснабжении. В республике насчитывается более 10 тыс. сельских населенных пунктов, что чрезвычайно затрудняет их инженерное оборудование и санитарное благоустройство. Затраты на санитарно-техническое (очистные сооружения) строительство в связи с многочисленностью и отдаленностью объектов часто настолько увеличиваются,

что оно становится нереальным в экономическом отношении.

Практически по всей республике требуются значительные финансовые и материальные затраты на оснащение водопроводных сооружений. В этих условиях большое значение имеют правильный выбор водоемного источника, метода подготовки воды и ее подачи населению, концентрация средств на наиболее надежных и долгосрочных системах водоснабжения, относительно простых в эксплуатации.

В качестве питьевых водоемных источников могут использоваться лишь те водоемы, в которых уровень загрязнения воды не превышает возможностей очистки до качества питьевой воды.

Для нужд современных городов и сельских населенных пунктов, промышленных предприятий и энергохозяйств необходимо определенное количество воды, строго отвечающей по своим качествам требованиям ГОСТ или технологии. Так, потребность в воде питьевого качества в Узбекистане возрастет от 1 км³ в 1985-1990 гг. до 7 в 2000-2010 гг.

Решение этой важной народнохозяйственной задачи требует тщательного выбора источников водоснабжения, организации их охраны (в основном путем зональной специализации хозяйств и рационального размещения производительных сил), широкого внедрения достижений научно-технического прогресса с целью интенсификации очистки сточных вод. Для поддержания водоемов в удовлетворительном санитарном состоянии при рекреационном и техническом водопользовании необходимы специальные водоохранные мероприятия, направленные на снижение нагрузки на водоемы и восстановление самоочищающей способности рек.

На территории Узбекистана в горных районах около 7 км³ воды формируется за счет атмосферных осадков и таяния ледников и загрязнено незначительно. Часть этих ресурсов может быть перераспределена для целей питьевого водоснабжения и аккумулирована в нескольких крупных водоемных источниках, где имеется реальная возможность создания зон санитарной охраны. Кроме того, для питьевого водоснабжения может быть привлечена часть стока р.Пяндж (ТаджССР). Районы Узбекистана, не имеющие на своей территории запасов воды питьевого качества, могут быть обеспечены за счет этих ресурсов по водоводам большой протяженности.

Опыт эксплуатации таких водопроводных систем имеется в Узбекистане (из Китабо-Шахризавской котловины) и в Казахстане. Несмотря на большие затраты, эти системы себя оправдывают.

Долгосрочная программа реализации комплекса мероприятий по

коренному улучшению коммунального водоснабжения населения Узбекистана (в количественном и качественном отношении) и охране питьевых водоисточников должна найти отражение в "Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов Узбекистана".

Для усиления контроля за качеством воды питьевых водоисточников в специфических условиях Узбекистана необходима разработка регионального стандарта.

В целях упорядочения системы распределения водных ресурсов, с учетом выделения наиболее чистых водоисточников в первую очередь для питьевых целей, "Водный кодекс УзССР" должен соответствовать "Водному кодексу СССР" и соблюдаться в обязательном порядке.

Н.Е.Горелкин, канд.геогр.наук
(САНИИ им.Бугаева)

ИЗМЕНЕНИЕ ОЗЕРНОЙ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЕЛЬТЫ АМУДАРЬИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В 60-80-е годы в результате крупного водохозяйственного строительства в бассейне, роста орошаемых земель резко сократился приток воды в дельту Амударьи, что отразилось и на основных закономерностях развития гидрографической сети.

Чередование озерно-плавниевой и русловой фаз развития способствовало формированию дельты Амударьи. В конце XIX — начале XX в. транзитного руслового стока в Аральское море практически не было и весь сток изливался в дельту, затопляя огромные массивы, поступая в море по всему периметру дельтового побережья [1].

Последующий период характеризовался постепенным сосредоточением стока по ограниченному числу водотоков, достигнув к середине 70-х годов, как считает М.М.Рогов, почти предельно возможного состояния [2].

Развитие гидрографической сети дельты Амударьи с 60-х годов происходило на фоне резкого сокращения обводненности дельты и интенсивного водохозяйственного строительства. Суммарная водоподача в дельту по руслу Амударьи сократилась с 1550 м³/с в 60-е годы до 630 — в 70-е и 160 м³/с — в 80-е годы. Это сопровождалось исчезновением озер питавшихся речными водами. Усыханию дельты способствовало падение уровня Аральского моря.

К середине 70-х годов в дельте практически не осталось естественно обводняемых озерно-плавневых массивов. Их деградация объясняется не только сокращением стока, вызванного естественным маловодьем и ростом водопотребления, но и искусственным обвалованием главного русла реки, перекрытием основных рукавов, питавших озерные массивы.

Одновременно с исчезновением озер, питающихся речными водами, образовывались озера нового типа, так называемые ирригационно-сбросовые, питающиеся коллекторно-дренажным стоком.

Изменения, происходящие в озерной гидрографической сети, потребовали проведения инвентаризации водоемов. Поскольку картографи-

ческие материалы не успевают отражать изменения в гидрографии, за основу при составлении каталога принимались крупномасштабные космодотоснимки. Основными исходными материалами служили спектральные космодотоснимки (М 1:200000) с разрешающей способностью 8-10 м, а также разномасштабные карты прошлых лет изданий.

Дешифрирование космодотоснимков проводилось с учетом плотности фототона, цвета и оттенка синтезированного снимка и ряда косвенных признаков. Сначала выполнялось камеральное дешифрирование с последующим аэровизуальным обследованием и корректировкой схем на местности. В пустынной местности могут быть дешифрированы озера площадью более 1 га, в культурной зоне — более 10 га.

Сравнение результатов инвентаризации, проведенной по снимкам летом 1985 г., с каталогами 1936 и 1967 гг. позволило выявить тенденцию изменения озерности в Среднеазиатском регионе.

На региональном уровне происходит сокращение озерности в первую очередь за счет катастрофического усыхания конечного водоприемника — Арала, что является реакцией бассейна на изъятие стока и изменение структуры его затрат. Этот процесс не компенсируется ростом площадей возникающих ирригационно-сбросовых озер.

Изменения в соотношениях озерности между ирригационными районами вызваны внутрибассейновым (с межбассейновым) перераспределением стока на орошение и характеризуются увеличением озер по периферии зон перспективного орошения.

Внутри ландшафтно-ирригационных районов на локальном уровне преобладают следующие тенденции:

сокращаются (вплоть до полного исчезновения) ранее существовавшие озера, питаемые речными водами;

вытесняются озера из орошаемой зоны на её периферию в результате перепланировки при освоении земель;

происходит интенсивный рост ирригационно-сбросовых озер по периферии орошаемых массивов.

Эти тенденции характерны и для низовьев р.Амударьи (таблица). Однако на изменение озерности Южного Приаралья влияет приращение площадей дельты.

В период падения уровня моря (1960 — 1989 гг.) увеличилась дельта реки за счет осушенной части моря более чем на 6000 км². Рельеф новоосушки представлен плоскими равнинами с незначительным уклоном в сторону моря.

Формирование новой гидрографической сети на осушенной части происходит за счет удлинения русла Амударьи, реконструкции устьевых участков коллекторов, образования ирригационно-сбросовых озер, создания искусственных водоприемников речных вод.

На осушенном дне Аральского моря и Южного Приаралья в первой половине 80-х годов сформировалась система озер, аккумулирующих коллекторно-дренажный сток магистральных коллекторов ККС, КС-1, КС-3, КС-4. К наиболее крупным относятся Джелтырбас, Тогизторе и Акпеткинская система озер. Увеличились в размерах оз.Судочье, Караджарская озерная система, озерные системы, питающиеся речными водами — Шеге-Коксу, Думалак; каналами — оз.Рибачье и Муинакское. Авандельта р.Амударьи в настоящее время представляет собой крупный озерный массив, препятствующий поступлению в Аральское море как амударьинской воды, так и коллекторно-дренажных вод.

Для озер дельты характерна высокая изменчивость их режима, вызванная неустойчивым характером обводнения. Крупные озерные системы могут появляться и исчезать в течение одного-двух сезонов, а иногда и одного года. Это можно проследить на примере многоводного 1990 г., когда в результате увеличения притока воды в дельту по руслу р.Амударьи в июне-августе до 250-370 м³/с, заполнились межозерные понижения и образовался единый озерный комплекс Шеге-Коксу площадью до 175 км². В августе произошел перелив воды в котловину оз.Думалак, площадь которого возросла до 70 км². Увеличились также площади оз.Муинакское, Рибачье, Тогизторе и Джелтырбас. Схема развития озер низовьев р.Амударьи в 1990 г. представлена на рисунке.

Общая площадь затопленной территории, судя по космодотосъемкам и аэровизуальной оценке, в сентябре 1990 г. составила 1700 км².

Список используемой литературы

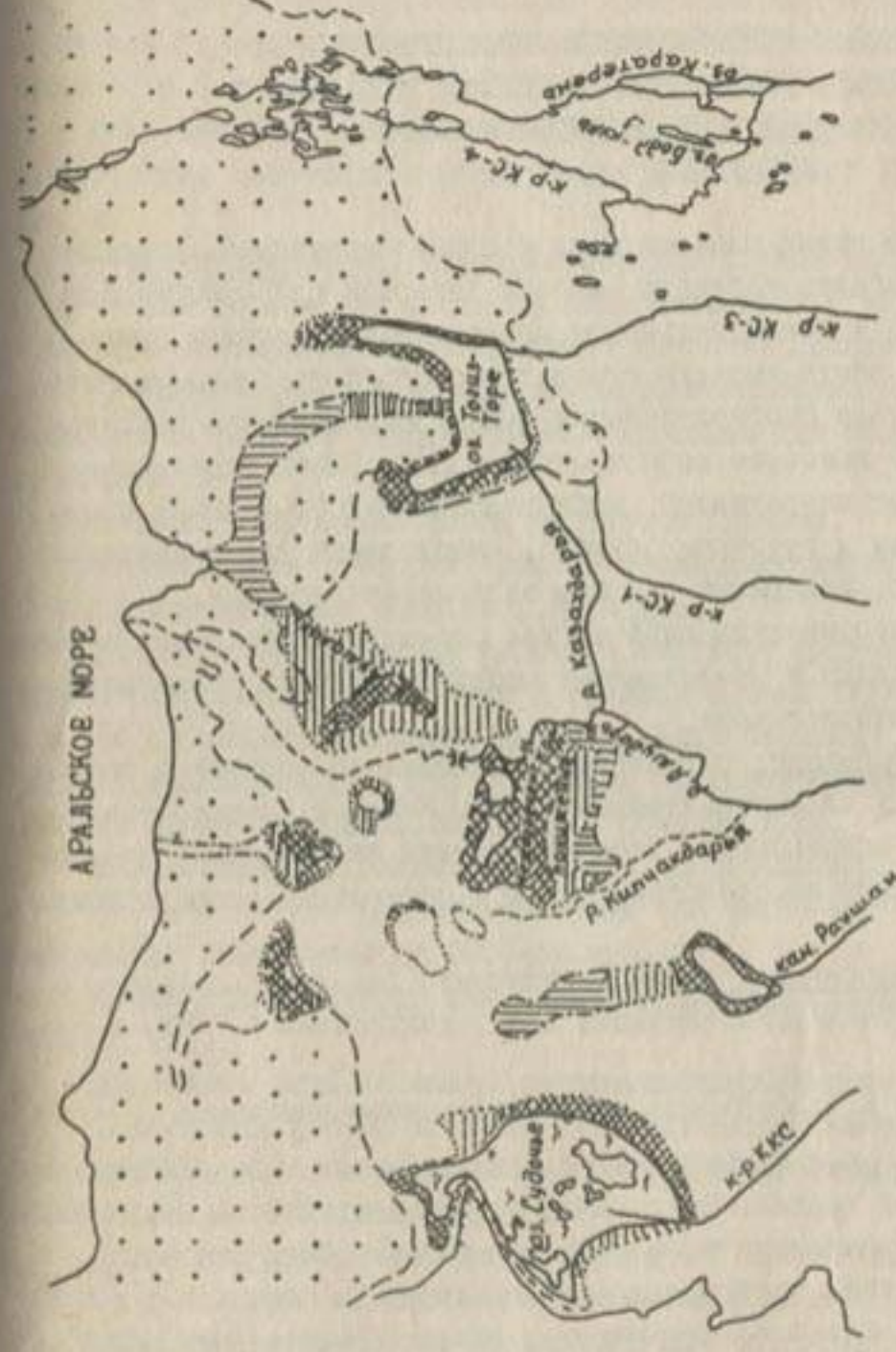
1. Горелкин Н.Е. Изменения в структуре озер равнинной территории Средней Азии под влиянием водохозяйственного строительства. Изв. Уз. геогр. об-ва. — Т.14. ФАН, 1988. — С.25-31.
2. Рогов М.М. Изменения гидрологического режима дельты Амударьи под влиянием водохозяйственной деятельности. Труды ГИИИ, 1984. — Вып.172. — С.28-41.
3. Лопатин Г.В. Строение дельты р.Амударьи и история её формирования. — Труды Академии наук СССР. — М.:1957. — Т.19. — С.5-34.

Таблица

Распределение озер дельты р. Амударьи по градам площади

Интервал площадей	Каталог 1936 г.		Каталог 1957 г.		Каталог 1985 г.	
	количество озер	площадь, км ²	количество озер	площадь, км ²	количество озер	площадь, км ²
0,01-0,1	10	1,06	-	-	35	3,28
0,11-0,2	28	4,59	-	-	21	3,15
0,21-0,3	23	5,46	-	-	17	4,19
0,31-0,4	19	5,02	-	-	13	4,84
0,41-0,5	29	8,17	2	0,92	2	0,92
0,51-0,6	7	4,56	28	17,14	4	2,12
0,61-0,7	4	2,60	15	9,86	12	8,82
0,71-0,8	12	8,23	19	14,66	1	0,76
0,81-0,9	9	7,57	10	8,47	1	0,84
0,91-1,0	11	9,59	10	10,33	3	2,89
1,01-5,0	80	198,5	64	121,38	18	37,25
5,01-10,0	24	150,38	13	88,35	3	23,18
10,01-50,0	18	296,64	4	60,5	4	136,87
50,0-100	3	186,5	1	69,4	3	200,03
Свыше 100	4	781,56	1	337	3	1024,66
Всего	282	1629,3	170	737,98	146	1453,9

112



113

Динамика развития озер низовьев р. Амударьи в многоводном 1990 г.

Положение береговой линии в период обследования по состоянию на
11 мая — — — — — 29 июля 27 июля — — — — — 22 августа,

Приращение площадей

в мае

в июле

в августе

С.Л.Зубарев, А.Г.Савицкий,
А.Г.Сорокин, О.Н.Тихонова
(НПО САНИИРИ)

ОПЕРАТИВНОЕ И ПЕРСПЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТОКОМ Р.АМУДАРЬИ В ТУЯМУКНСКОМ ГИДРОУЗЛЕ, А ТАКЖЕ ИНЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ РЕГИОНА ПРИАРАЛЬЯ

В ближайшее время намечен ввод в строй сооружений, которые позволят использовать наливную емкость Капараса при Туямукинском гидроузле (ТМГУ) в целях питьевого водоснабжения региона Приаралья. Понятно, какую высокую ответственность и требовательность следует проявлять к прогностическим данным в момент его заполнения (1-2 месяца) наиболее качественной водой. Здесь особое значение приобретает оперативный, заблаговременный (2-6 дней) прогноз качества воды в суточном разрезе, необходимый для принятия решений службами, ведающими режимом заполнения Капараса.

Такой прогностический аппарат уже создан на базе современной компьютерной техники и представляет собой программу, обладающую следующими характеристиками.

Входная информация: регулярные сообщения об уровнях и расходах воды, степени её минерализации в ств. Керки и Ильчик, сведения о сбросах и водозаборах. Частично данная информация в настоящее время поступает по средствам связи в управление эксплуатации ТМГУ.

Выходная информация: заблаговременные (2-6 дней) сведения о количестве и степени минерализации воды, подходящей к ТМГУ, в суточном разрезе.

Возможности и особенности прогностического комплекса

Удобство ввода информации в диалоговом режиме с автоматической перепроверкой данных. Визуальный контроль процессов переноса по руслу реки водных масс и степени их засоленности. Взаимокорректировка сведений, поступающих со ств. Керки и Ильчик без возникновения сбоев в работе комплекса программ. Выдача информации в табличной форме на печатающее устройство пользователя.

Возможность в диалоговом режиме определить одну из технических осуществимых стратегий работы ТМГУ в суточном разрезе и полу-

чить заблаговременный прогноз минерализации воды в емкостях гидроузла и её динамику.

Репрезентативность программного комплекса

Программный комплекс в состоянии самостоятельно контролировать свою работу по ретроспективе. Сведения выдаются на печать в табличной форме. В многочисленных проверках ошибка прогноза составляет 10 % и лишь один раз достигла 20 % (очевидно это связано с недостаточной достоверностью исходной информации). График соответствия расчетных и фактических зависимостей представлен на рис. 1.

Степень внедрения. Комплекс передан службе эксплуатации ТМГУ в усеченной форме (без прогноза минерализации) с целью ознакомить и выявить дополнительно необходимые качества комплекса.

Теоретическая основа модели. Морфологические эмпирические зависимости реки на участке Керки-Дарганата для более точного учета испарения.

Уравнения сохранения массы по воде и примеси.

Уравнение Шези с корректировкой последнего на неустановившийся характер движения воды по р.Амударье.

Для выполнения данной работы коллективу авторов пришлось рассчитать ретроспективный водный и солевой баланс ТМГУ за 1981-1990 гг., а также определить величину выщелачивания корневых запасов соли во всех емкостях ТМГУ. Это позволило прогнозировать степень изменения качества воды в Капарасе в течение года.

Для решения поставленной задачи потребовалось:

составить фильтрационные потоки при ТМГУ, которые в отдельные месяцы составляли до 200 млн.куб. м;

обработать почти 20 тыс. замеров качества воды во всех емкостях ТМГУ;

составить водно-солевой ретроспективный баланс ТМГУ.

В процессе работы получены дополнительные сведения о режимах работы ТМГУ, которые оказались достаточно интересными. Выводы приводятся на данный момент времени:

вся легкорастворимая соль в Капарасе поступила в раствор в связи с его почти мгновенным заполнением в момент взрыва перемички. В Султансвиждаре соль из аналогичных отложений была унесена с фильтрационными потоками в подземные горизонты;

около 70 % растворенной соли находится по-прежнему в районе

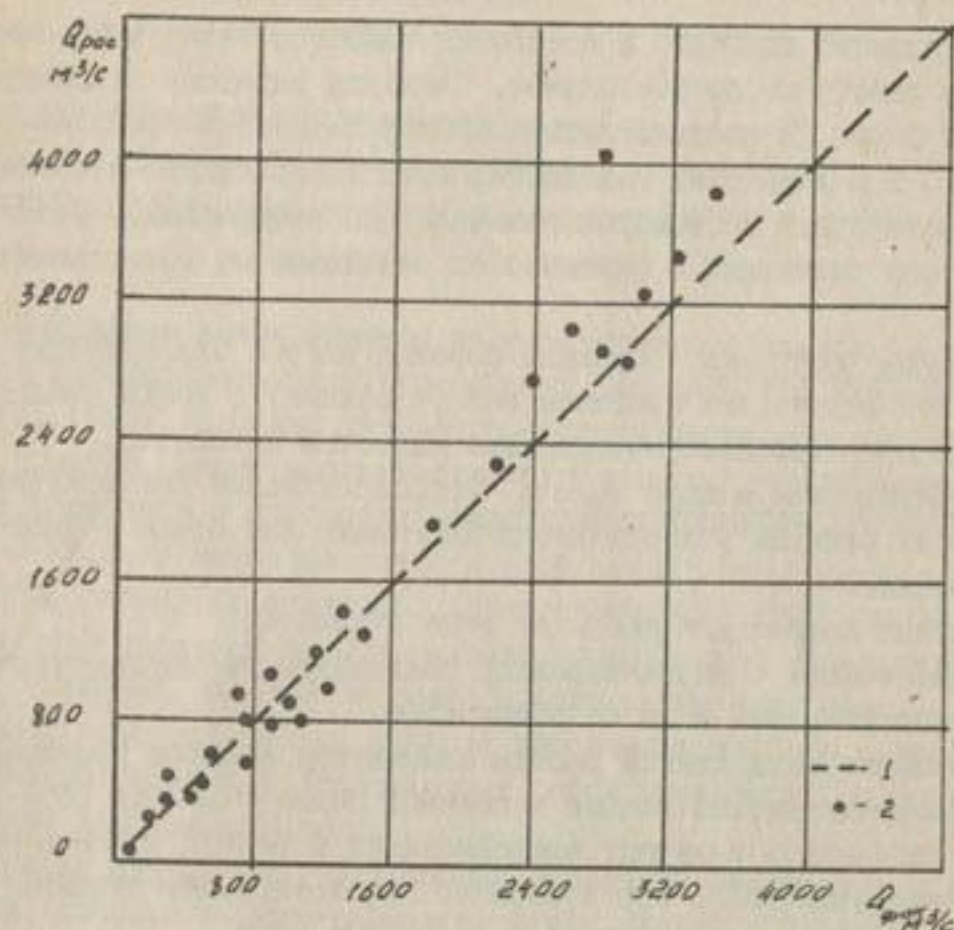


Рис. I. График соответствия расчетных и фактических расходов по створу Дарганата:
1-ось симметрии; 2-измеренные данные.

ТМГУ в наземных емкостях и подземных горизонтах;

процесс выщелачивания соли из корневых отложений стабилизировался и имеет очень слабую тенденцию к снижению. В настоящее время в Капарасе выщелачивается примерно 10 тыс. т соли в месяц.

Проведенный ретроспективный расчет водно-солевого баланса позволил перейти к прогностическим моделям: оперативным (в суточном разрезе) и перспективным (в месячном и декадном разрезе).

Сравнение расчетных и фактических характеристик минерализации по всем четырем емкостям ТМГУ приведено на графиках рис. 2, а и 2, б.

Было показано, что резкое наполнение и плавная сработка Капараса до мертвого объема может привести к повышению минерализации воды в нем не более чем на 0,35 г/л против исходного в начале года.

Все программы представляют собой взаимосвязанный комплекс, способный работать в полуавтоматическом режиме.

Группа программ используется службой эксплуатации ТМГУ.

В процессе работы возникла необходимость в решении специальных задач. Одна — связана с вопросами транспорта наносов. Важность данной задачи диктуется фактом огромных фильтрационных потерь воды ниже ств. Туямун, а также процессами вторичного загрязнения. Данные потери обусловлены снижением уровня Арала и уменьшением кольматажа русла, что в свою очередь неблагоприятно влияет на экологическую ситуацию в регионе.

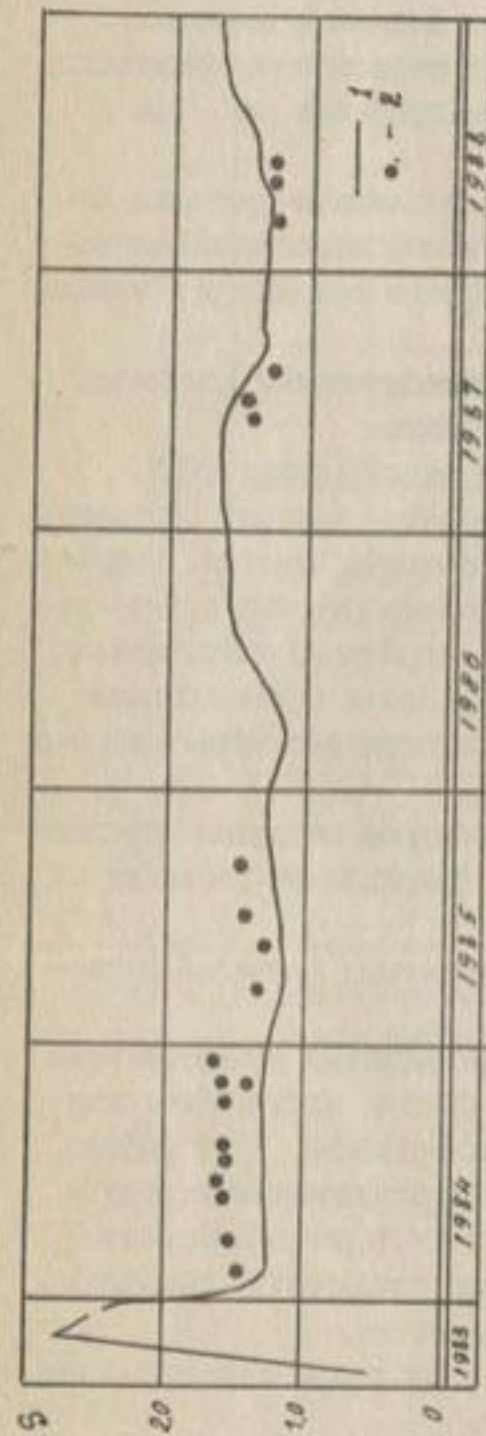
В результате исследований была разработана методика определения транспортирующей способности реки во фракционном раскладе по наносам.

Результаты сравнения расчетных и измеренных значений приведены на рис. 3 и 4.

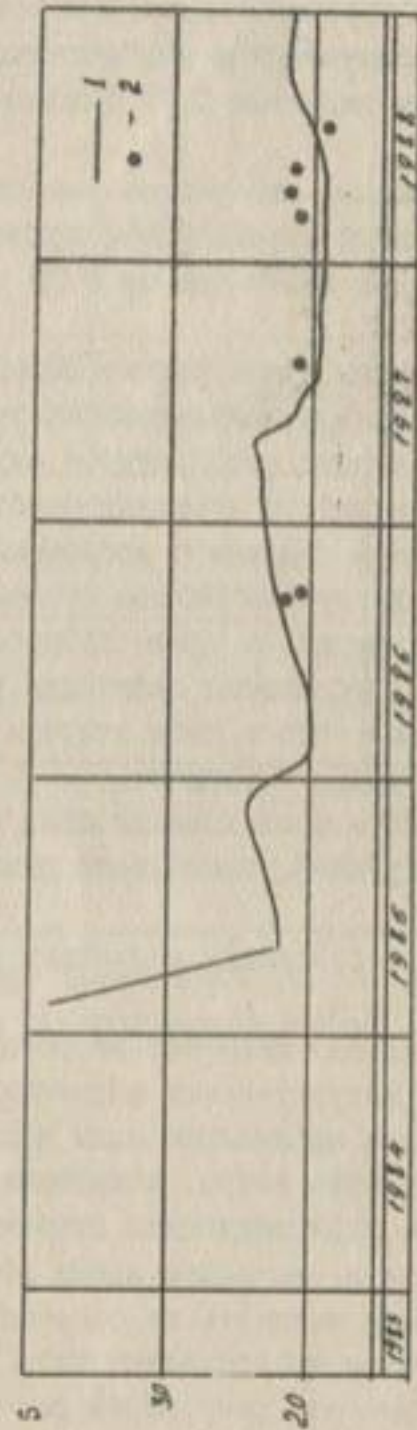
Вторая задача включает вопросы трансформации качества воды в мелководных искусственных водоемах Приаралья. Прогностическая модель учитывает циркуляцию воды в данных водоемах, топографию их дна, направление ветра, испарение, транспирационные потери и взаимодействие циркуляционных течений с водной растительностью.

Эти задачи в настоящее время проходят проверку на реальных объектах с целью выяснить их репрезентативность.

Рамки статьи не позволяют дать описание теоретической части и полностью привести результаты расчетов.

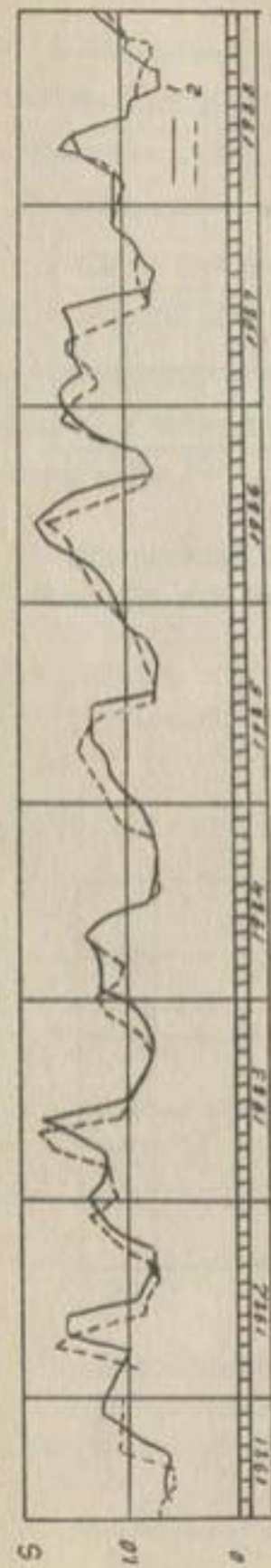


а)

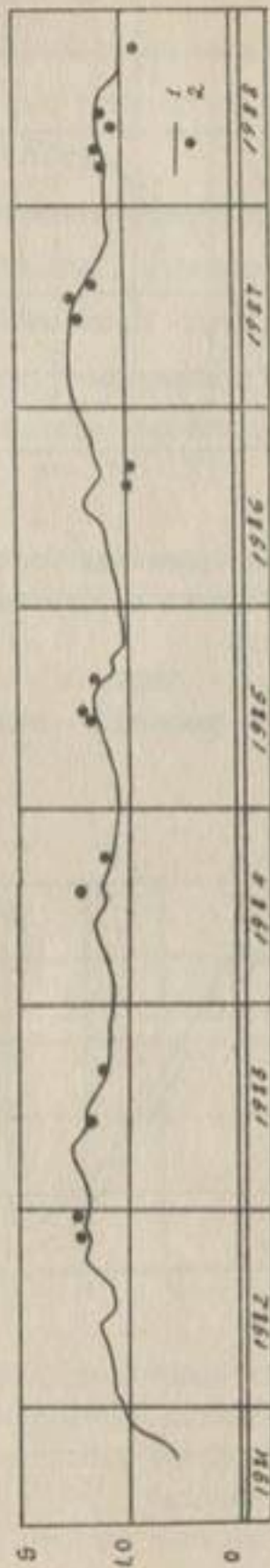


б)

Рис. 1, а. График сравнения расчетных и фактических значений минерализации воды.
а) - минерализация в Султансанджарском водохранилище;
б) - минерализация в водохранилище Котбулак.
1 - расчетные данные; 2 - натурные данные.



а)



б)

Рис. 2, б. График сравнения расчетных и фактических значений минерализации воды.
а) - минерализация в Русловской емкости;
б) - минерализация в водохранилище Каларас.
1 - расчетные данные; 2 - натурные данные.

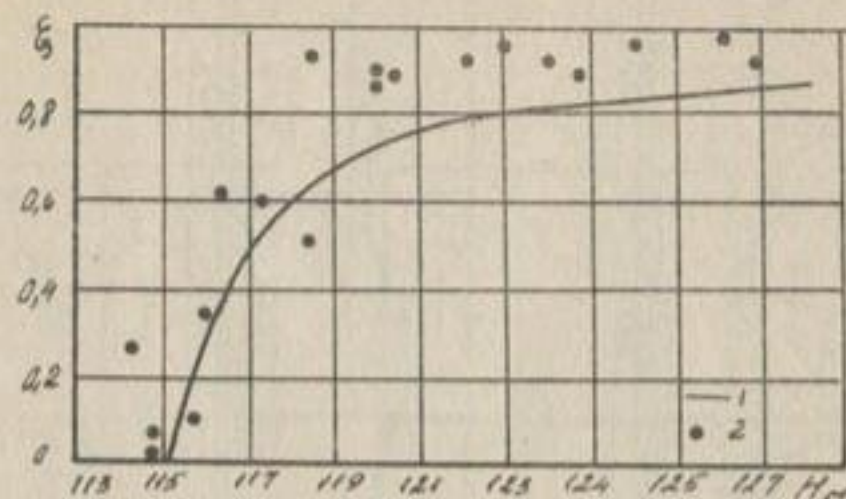


Рис.3. График сравнения расчетных и фактических коэффициентов освещения воды для русловой емкости

ТМТУ:

1 - расчетные данные; 2 - измеренные данные.

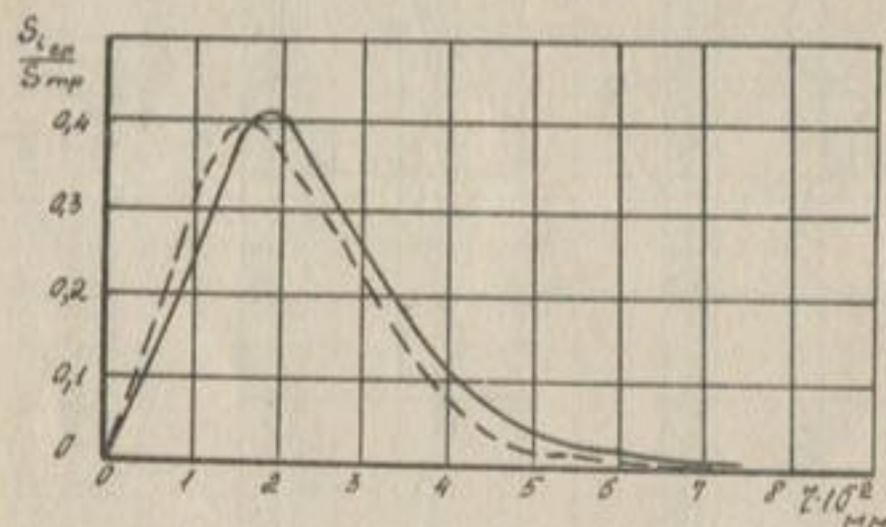


Рис.4. График сравнения долей фракций наносов, расчетных и измеренных, транспортируемых в подводящем участке Каршинского магистрального канала:

1 - расчетные данные; 2 - измеренные данные.

Они частично изложены в отчетах НПО САНИИРИ, а также содержатся на дискетах авторов. Общий объем только текстовых файлов составляет 1 мегабайт. Примерно столько же занимают таблично-представленные результаты расчетов.

Исследования в данном направлении будут продолжены. Цель работы - создать программный продукт, отвечающий современным требованиям, полезный для эксплуатационных служб, работающих по улучшению экологической обстановки в низовых р.Амударья и в районе Приаралья, и способный обеспечить эффективную работу гидротехнических сооружений.

Н.Е.Горелкин, канд. геогр. наук
Д.Д.Нурбаев
(САНИИ им.Бугаева)

МЕТАМОРФИЗАЦИЯ ИОННОГО СОСТАВА ВОДНЫХ МАСС АРАЛЬСКОГО МОРЯ В ПЕРИОД ПАДЕНИЯ ЕГО УРОВНЯ

Нарушение равновесия водно-солевого баланса Аральского моря, вызванное сокращением притока речных вод, привело к падению уровня и уменьшению объема моря, росту минерализации и метаморфизации ионного состава водных масс. С 1960 по 1990 г. соленость воды возросла с 9,8 до 31 г/л, причем наиболее интенсивный рост минерализации отмечался в последние годы.

В 1988 – 1990 гг. Аральская экспедиция САНИИМИ провела серию аэродесантных гидрохимических съемок моря. В 1988 г. пробы отбирались в поверхностном слое Малого и Большого морей. В зимних съемках, выполненных со льда, пробы брали по всей глубине. В последние годы, когда возобновились съемки с судна, пробы отбирались преимущественно в мелководных зонах, где невозможен отбор проб с корабля.

Анализ ионного состава проводился по общепринятым методикам в химической лаборатории Средазгипроводхлопка.

Раздельное определение содержания всех главных ионов позволило оценить точность химических анализов морских вод. Отношение модуля разности катионов и анионов к их сумме, характеризующее ошибку анализа, изменяется от 4 до 0,2 %. В подавляющем большинстве случаев отклонение не превышало 2 %, что свидетельствует о высоком качестве химических анализов. Сравнение полученных результатов с данными химических анализов 50 – 80 -х гг., выполненных ГОИИом, позволяет оценить изменение ионного состава аральских вод в последние годы.

Гидрохимические наблюдения Л.К.Блинова, проводившиеся в 50-е гг., показали высокую устойчивость и постоянство ионного состава водных масс Аральского моря в период квазистационарного состояния водно-солевого баланса. Этому способствовало питание слабоминерализованными водами рек, карбонатные ионы которых выпадали в осадок при смешивании с морской водой. Для этого периода характерны значительные потери в отпущивавшихся водоемах при колебании уровня моря, в солевом балансе значимыми компонентами были

грунтовый отток и ветровой вынос солей [1].

В период падения уровня моря меняется структура солевого баланса и соотношение между отдельными его компонентами. В последние годы на формирование ионного состава, кроме речного притока, доля которого заметно сократилась и изменился ионный состав речных вод, основное влияние оказывает концентрация солей при сокращении объема моря. Повышается роль испарения с мелководной зоны. В результате замедленного водообмена химический состав водных масс по акватории моря становится все более неоднородным. В солевом балансе возрастает роль грунтовых вод, их взаимодействие с засоленными берегами. Активизируется процесс ветрового солепереноса и эолового выноса солей с поверхности моря и льда. При дальнейшем увеличении минерализации возможна метаморфизация ионного состава за счет выпадения в осадок мирабилита.

По классификации О.А.Алекина, водные массы Аральского моря за весь период наблюдений относились к хлоридно-натриевому классу третьего типа. Ионный состав вод открытого моря довольно однороден. Доля хлоридных ионов составила 30,3, сульфатных – 19,1 %. Из катионов преобладает натрий, доля содержания которого достигает 31,3 %. Ионы магния составляют 14 %, а ионы калия и гидрокарбоната – 0,5 %, выраженных в процент-эквивалентной форме. Минерализация подледной воды в марте 1990 г. менялась в пределах 1,6 – 35,9 г/л. Наименее минерализованная вода отмечалась в районе впадения р.Сырдарьи.

Минерализация водных масс в западной части моря на 40-метровой глубине составляла 30 г/л. Повышенная соленость характерна для мелководных районов Малого моря.

Для водных масс Аральского моря характерны высокие коэффициенты корреляции минерализации с концентрацией доминирующих ионов. В условиях переизбытка вод карбонатными ионами отмечается небольшое уменьшение относительного содержания ионов HCO_3 с ростом солености воды (табл.1)

Одним из показателей происходящих изменений солевого состава служит изменение процент-эквивалентного содержания основных солеобразующих компонентов. Сопоставление относительного содержания доминирующих ионов свидетельствует о постепенной метаморфизации водных масс моря в период падения уровня (табл. 2).

Сравнивая ионный состав водных масс за различные годы, следует отметить, что содержание хлор-иона и сульфат-иона несколько

увеличилось, а содержание гидрокарбоната уменьшилось.

Для оценки дальнейших изменений в соотношениях между ионами проводили опыты по выпариванию образцов, отобранных на центральном плесе моря. В солевой массе моря преобладают высокорастворимые соли, поэтому при концентрировании аральских вод до величин 150 - 250 г/л доля, выпадающих в осадок солей, не превышала 4 - 7 % от их общего содержания. Этим объясняется общая устойчивость соотношения между ионами в 1950 - 1990 гг., полученных разными авторами [1;2;3].

Статистическая обработка результатов химических анализов солевого состава высокосолёных вод, полученных при выпаривании образцов, и отобранных в отпущивавшихся водоемах, позволила получить аналитические зависимости между минерализацией и главными солеобразующими ионами в диапазоне 40 - 250 г/л (табл. 3).

Полученные зависимости для большинства ионов имеют небольшую кривизну и в пределах минерализации 10 - 50 г/л с достаточной степенью точности могут аппроксимироваться линейными уравнениями. Проведенные опыты по выпариванию образцов воды Аральского моря подтверждали выпадение избытка карбонатов уже в начале повышения минерализации. При возрастании солёности в 10 - 12 раз в зимний период в осадок выпадал мирабилит. Увеличение минерализации до 250 г/л так же, как и в опытах И.В.Рубанова не приводило к образованию других минералов [2].

Выявленные зависимости могут использоваться в предварительных прогнозах будущих изменений солёности моря и в приближенных оценках количества солей, переходящих в осадок, при дальнейшей концентрации аральских вод.

Таблица I

Статистические характеристики ионного состава проб, отобранных в марте 1990г., мг/л

	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Сумма ионов
Диапазон изменения величин (макс-мин)	720-144	1980-82	8925-200	372-6	256-154	10663-787	13110-198	35930-1607
Среднее значение	616,7	1445	6465	282	196	8076	9508	26602
Среднее квадратичное отклонение	116	419	1806	85	24,5	1945	2843	7144
Коэффициент корреляции с минерализацией	0,8665	0,9871	0,9983	0,9827	-0,0493	0,9845	0,9934	1,0

Таблица 2

Изменение осредненных по сямкам соотношений между ионами в водных массах
Аральского моря в период падения уровня

Год проведения съемки	Содержание ионов в процент-эквивалентной форме					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
1952	7,28	12,9	28,9	0,89	1,00	29,4
1979	5,94	13,7	29,5	0,85	0,50	29,7
1981	5,88	13,9	30,1	0,90	0,46	29,4
1988	3,75	13,5	31,8	0,80	0,37	30,7
1989	3,98	14,0	31,3	0,80	0,50	30,3
1990	3,49	13,5	32,0	0,82	0,36	30,5
						19,7
						19,8
						19,4
						19,0
						19,1
						19,2

N6

Таблица 3

Уравнения связи компонентов солевого состава ионов и минерализации высокосольных вод (40 - 250 г/л), полученных при выпаривании образцов воды аральского моря

	II9I2I		I	(-0,564996)		Коэффициент регрессии
HCO ₃ ⁻						0,98
SO ₄ ²⁻	- 2094,78	+ 0,22946I	x I	+ 6,6498 I0 ⁻⁸	x I ²	0,99
Cl ⁻	- 1595,2	+ 0,422183	x I	- 2,347 I0 ⁻⁸	x I ²	0,82
Ca ²⁺	- 781,885	- 9,598I I0 ⁻⁵	x I	- 6,1387 I0 ⁻⁹	x I ²	0,99
Mg ²⁺	- 213,813	+ 0,6156048	x I	+ 3,0003 I0 ⁻⁹	x I ²	0,96
Na ⁺	- 1090,68	+ 0,279494	x I	- 4,804 I0 ⁻⁸	x I ²	0,99
i	- 4205,11	+ 2,35958	x I	+ 3,0102 I0 ⁻⁷	x Cl ²	

N7

1. Блинов А.К. Гидрохимия Аральского моря. - Л.: Гидрометиздат. - 1956 - 252 с.
2. Бортник В.П., Буйневич Н.А. О солевом составе высокосолёных вод Аральского моря/Труды ГОИН. - 1980. Вып. 159. С. 53 - 62.
3. Бортник В.Н., Друмева Л.Б. Метаморфизация солевого состава вод Аральского моря и их концентрации в естественных условиях/Труды ГОИН. - 1986. Вып. 168. С. 53 - 62.
4. Рубанов И.В., Тимохина Н.И. Условия образования мирабилита (на примере Аральского моря)/Записки Узб. отд. Всесоюз. минерал. об-на. - Ташкент: Фан. 1982. С. 57 - 60.
5. Рубинова Ф.Э., Горелкина Н.Е. Водосолевой баланс Аральского моря//Тезисы докл. первой регион. конф. по теме: "Миграция солей по территории Среднеазиатского региона". - Ташкент, 1988.

УДК 502.5(262.83)

Основные направления научных исследований для решения экологических проблем Приаралья. Духовный В.А., Крутов А.Н.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

Выполненный анализ информации позволил выделить главные факторы, влияющие на развитие экологической обстановки в Приаралье, и сделать вывод о невозможности реабилитации прежней среды обитания и восстановления биоты акватории Аральского моря.

Исходя из возможности решения общей проблемы путем раздельного решения локальных задач, определен комплекс мероприятий для Приаралья и нижнего течения рек Сырдарьи и Амударьи. Поставленные задачи позволили построить иерархическую структуру исследований и сформулировать их основные направления.

УДК 627.8.001.57

Численная модель Капарасского водохранилища, используемого в качестве источника питьевого водоснабжения.

Крутов А.Н., Милитеев А.Н., Овинова Н.В.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

Излагаются результаты численных исследований условий возникновения и разрушения стратификации в водохранилище, выполненных по трех- и двумерной моделям.

Учет влияния ветровых воздействий позволил уточнить место расположения проектируемой насосной станции для улучшения качества забираемой воды.

Библ. 5, иллюстр. 11.

УДК 556.114/115

Гидробиологическая и гидрохимическая характеристики водоемов южного Приаралья. Бородин В.Е., Каримов Б.К.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

На основании проведенных гидрохимических и гидробиологических исследований некоторых основных водоемов и водотоков Приаралья (озера Судочье, Каратерень, водохранилища Междуреченское, Дауткульское, Муинакское, Сарбас-

ков, залив Джилтырбас, коллекторы КС-1 и КС-3, Аральское море) установлены связи между происходящими гидрохимическими и гидробиологическими процессами. Установлено, что в результате сильно измененных биоценологических и токсикологически гидробиоценозов сообщества фитопланктона, зоопланктона и зообентоса значительно деградировали.

Библ.15, табл.5.

УДК 556.114/115

Гидрохимическая и токсикологическая характеристики гидроэкосистем низовьев Сырдарьи. Каримов Б.К. Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

В статье даются сведения о степени загрязнения компонентов гидроэкосистем низовой р.Сырдарьи. На основании анализа содержания минеральных солей, биогенов, нефтепродуктов, фенолов, тяжелых металлов, бора, фтора и пестицидов в воде, донных отложениях, рыбах и растениях гидроэкотоксикологическая ситуация в регионе оценивается как весьма неблагоприятная, а для рыбного хозяйства — критическая.

Табл.7, библ.14.

УДК 628.3

Гидрботанический метод очистки коллекторно-дренажных вод от агрохимикатов. Рузиев И.Б., Рахимов Б.Х. Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

Экспериментальными исследованиями автора установлена целесообразность применения высших водных растений, обладающих максимальной деструкционной, поглощательной способностью, для очистки коллекторно-дренажных вод от агрохимикатов.

Иллюстр.2, табл.3.

УДК 628.241

Некоторые результаты исследований коллекторов Приаралья. Мухамедов Д.А. Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

Изложены результаты натурных исследований на коллекторах Берунийского района ККАССР. Приведены данные лабораторных исследований влияния расходов, степени за-

растания русла, формы поперечного сечения и боковой проточности на кинематику потока в коллекторе.

Иллюстр.4.

УДК 532.5.001.57

Моделирование процесса солепереноса по стволу р.Амударьи. Мятков С.В.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

В статье рассматриваются вопросы математического моделирования водного потока на основе "камерного" метода, при котором участки реки представлены отдельными емкостями. Предполагается, что в пределах одного участка реки происходит полное перемешивание растворенного в воде вещества. Такой подход позволяет численно имитировать прохождение паводка по реке без дополнительных расчетов времени добегания.

Библ.3, иллюстр.4, табл.5.

УДК 551.311.2(262.83)

Некоторые процессы изменения геологической среды восточного Приаралья. Викторов А.С.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

В статье рассматриваются некоторые процессы изменения геологической среды восточного Приаралья под влиянием понижения уровня Арала и других факторов. Исследования ВСЕГИНГЕО по изучению изменений геологической среды восточного Приаралья дистанционными методами позволили составить предварительные карты динамики геологической среды юго-восточного Приаралья и состояния геологической среды зоны сплошной опушки.

УДК 631.614:631.544.75

Лесомелиоративное освоение песчаных массивов прибрежной зоны осушенного дна Арала. Новицкий З.Б.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

В статье рассматриваются способы защитных насаждений на песчаных отложениях в зависимости от их проектного покрытия травянистой растительностью и подверженности дефляции.

Табл.2.

УДК 631.432.001.57

Численная реализация математической модели влагопереноса в ненасыщенных почвогрунтах в условиях анизотропных почв. Мятков С.В.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

В статье рассматриваются вопросы численной реализации математической модели влагопереноса при сложном строении ненасыщенных почвогрунтов. Решение задачи позволяет численно имитировать процессы влагопереноса в разнообразных по пространственному строению грунтах. Отдельно рассматривается процесс впитывания поливной воды в зависимости от степени увлажнения поверхностного слоя почвы.

Библ.4, иллюстр.3.

УДК 628.162.9

Коренное преобразование системы регионального природопользования как один из альтернативных вариантов проекту строительства магистрального правобережного коллектора. Золотарев Э.Л.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

Анализируется современное состояние водного хозяйства и питьевого водоснабжения республики. Делается вывод о недостаточной эффективности современных методов и путей очистки воды. Предлагается, наряду с уже апробированными и рекомендованными соответствующими организациями методами улучшения качества питьевого водоснабжения, кардинальный вариант — коренная реконструкция регионального природопользования в сторону его экологизации как реальная альтернатива проекту строительства правобережного Амударьинского коллектора.

УДК 628.162.9

К вопросу улучшения питьевого водоснабжения Узбекистана. Приходченко В.И.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

Дана оценка современного состояния питьевого водоснабжения городского и сельского населения Узбекистана и прогноз возможного комплекса водоохранных (технических и организационных мероприятий по его улучшению в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов и увеличивающегося их загрязнения.

УДК 556.15.047

Изменение озерной гидрографической сети дельты Амударьи под влиянием хозяйственной деятельности. Горелкин Н.Е.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

В статье рассматриваются закономерности развития гидрографической сети в бассейне Амударьи под влиянием хозяйственной деятельности. Сравнение результатов инвентаризации, проведенной по снимкам 1985 г., с каталогами 1936 и 1967 гг. позволило выявить тенденцию изменения озерности в Среднеазиатском регионе.

Библ.3, иллюстр.1, табл.1.

УДК 556.16:681.5

Оперативное и перспективное управление стоком р. Амударьи в Туямуинском гидроузле, а также иные специальные вопросы экологии региона Приаралья. Зубарев С.Л. и др.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

Приводится краткое описание особенностей и возможностей результатов исследований, связанных с вопросами экологии Приаралья. Исследование набора особенностей бассейна Амударьи позволило наделять комплекс программ способностью к самообучению и охватить район от устья р. Кафирниган до створа Саманбай вблизи водохранилища Тахтаташ.

Иллюстр.4.

УДК 556.114

Метаморфизация ионного состава водных масс Аральского моря в период падения его уровня. Горелкин Н.Е., Нурбаев Д.Д.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1991

Приводятся результаты химических анализов солевого состава высокосолёных вод, полученных при выпаривании образцов и отобранных в отшнуровавшихся водоемах. Получены зависимости между минерализацией и главными солеобразующими ионами в диапазоне 40–250 г/л.

Библ.5, табл.3.

стр.

I. Духовный В.А., Крутов А.Н. Основные направления научных исследований для решения экологических проблем Приаралья.....	3
2. Крутов А.Н., Милитеев А.Н., Овинова Н.В. Численная модель Капарасского водохранилища, используемого в качестве источника питьевого водоснабжения.....	7
3. Бородин В.Е., Каримов Б.К. Гидробиологическая и гидрохимическая характеристики водоемов южного Приаралья.....	25
4. Каримов Б.К. Гидрохимическая и токсикологическая характеристика гидрозосистем низовьев р.Сырдарьи.....	37
5. Рузиев И.Б., Рахимов Б.Х. Гидробиотический метод очистки коллекторно дренажных вод от агрохимикатов.....	54
6. Мухамедов Д.А. Некоторые результаты исследований коллекторов Приаралья.....	62
7. Мягков С.В. Моделирование процесса солепереноса по стволу р.Амударьи.....	68
8. Викторов А.С. Некоторые процессы изменения геологической среды восточного Приаралья.....	80
9. Новицкий З.Б. Лесомелиоративное освоение песчаных массивов прибрежной зоны осушенного дна Арала.....	85
10. Мягков С.В. Численная реализация математической модели влагопереноса в ненасыщенных почвогрунтах в условиях анизотропных почв.....	90
11. Золотарев Э.Л. Коренное преобразование системы регионального природопользования как один из альтернативных вариантов проекту строительства магистрального правобережного коллектора.....	99
12. Приходченко В.И. К вопросу улучшения питьевого водоснабжения в Узбекистане.....	104
13. Горелкин Н.Е. Изменение озерной гидрографической сети дельты Амударьи под влиянием хозяйственной деятельности	109
14. Зубарев С.Л., Савицкий А.Г., Сорокин А.Г., Тихонова О.Н. Оперативное и перспективное управление стоком р.Амударьи в Туямухском гидроузле, а также иные специальные вопросы экологии региона Приаралья.....	114

15. Горелкин Н.Е., Нурбаев Д.Д. Метаморфизация ионного состава водных масс Аральского моря в период падения его уровня	122
Рефераты	129

Подписано в печать 7.01.92г. Формат бумаги 60х84 1/16
Усл.п.л. 6,8 Тираж 290 экз. Заказ 1081. Цена 13 руб.76 коп.

Картфабрика института "Узгипрозем" г.Ташкент, ул.Мукуми, №-162