

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА Р. АМУДАРЬИ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ

А.Г. Сорокин; О.А. Каюмов, к.т.н.

Научно-информационный центр МКВК; САНИИРИ им. В.Д. Журина

(Республика Узбекистан)

В бассейне реки Амударья функционирует сложный водохозяйственный комплекс, работа которого в последние годы затруднена из-за отсутствия оперативного информационного обеспечения на фоне нарастания дефицита водных ресурсов. Для надежного контроля и управления водораспределением и водопользованием необходимо повышение достоверности и качества информации. С этой целью необходимо повысить техническое обеспечение метрологической службы в регионе и модернизировать систему контроля и прогнозирования водных ресурсов. Эта система должна включать в себя базу данных о водном хозяйстве и математические модели: (1) годового планирования и (2) оперативного управления.

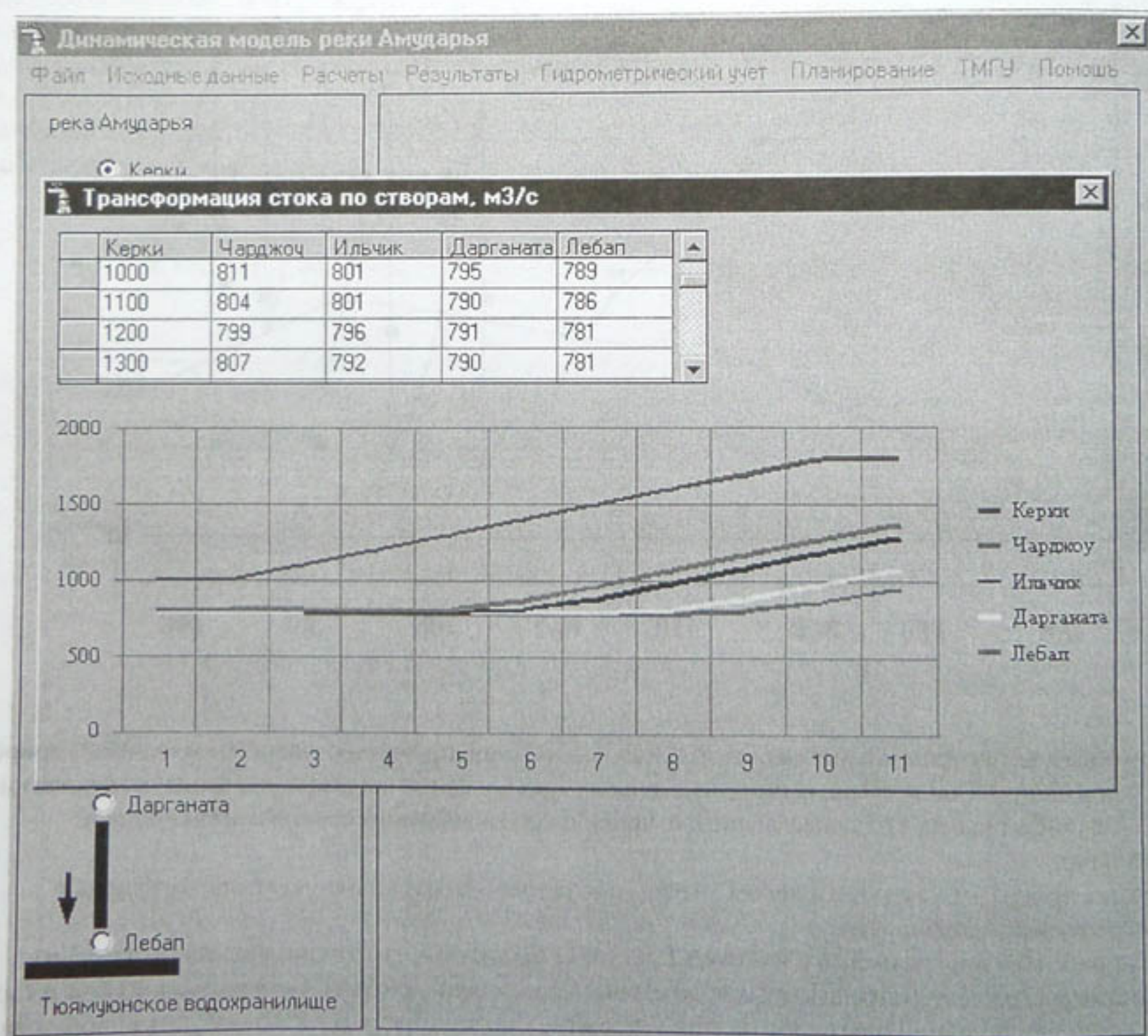
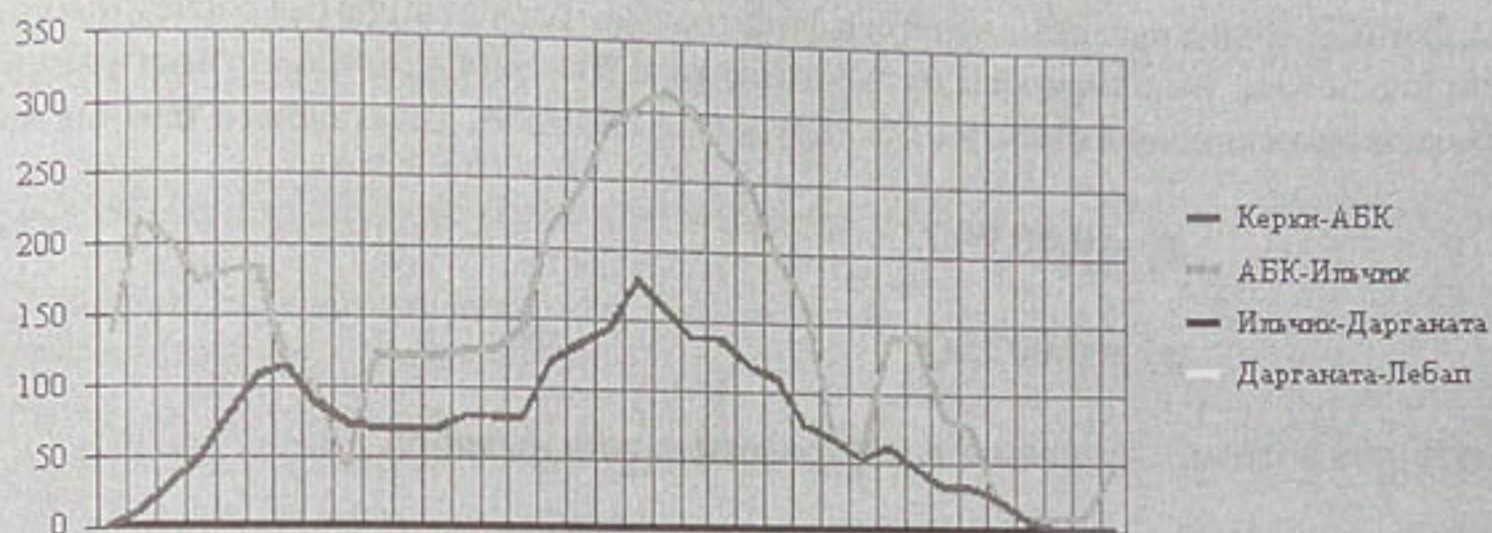


График лимитов на водозабор из реки, м³/с

Керки-АБК	АБК-Ильчик	Ильчик-Дарганата	Дарганата-Лебап
69	122	0	0
79	126	0	0
79	126	0	0
78	144	0	0
119	216	0	0
132	242	0	0
144	288	0	0
178	304	0	0



Модели годового планирования должны позволять рассчитывать в месячном разрезе допустимые решения по регулированию и использованию водных ресурсов. Модели оперативного управления – это динамические модели, позволяющие на основе оперативной информации в верхних створах реки прогнозировать трансформацию гидрографа стока по течению реки на краткосрочный период (несколько дней) с шагом расчета – не более суток. Оперативное управление включает анализ фактической ситуации в сравнении с решениями, принятыми на этапе годового планирования, возможную корректировку планов.

В рамках программы МКВК ставилась задача создания для БВО “Амударья” информационно-программного комплекса оперативного управления, включающего компьютерную динамическую модель Амударьи, базу данных и интерфейс, объединяющий все перечисленные составляющие в единое целое.

БВО “Амударья” осуществляют годовое планирование, согласованное с водохозяйственными ведомствами государств и оперативно-диспетчерское управление, обеспечивает подачу и контроль водных ресурсов в пределах установленных МКВК лимитов. Режимы работы водохранилищ разрабатываются БВО с целью удовлетворения водопотребителей и недопущения конфликтных ситуаций и утверждаются на заседаниях МКВК.

Для условий Амударьи за основу был принят концептуальный подход, позволяющий при относительно небольшом объеме исходной информации получать приемлемые для практики результаты. В качестве характерного течения было обосновано уравнение кинематической волны (квазиустановившееся движение).

Моделирование водного режима реки Амударья представляет из себя схематизацию процессов движения речного потока с учетом времени добега и использования эмпирических частных закономерностей формирования и трансформации потока, характерных для среднего течения реки. В модель входят зависимости, позволяющие рассчитывать параметры потока и характеристики русла реки, потери воды на испарение с водной поверхности, русловые фильтрационные потоки.

Для реки Амударья разработана и апробирована специфическая модель, отражающая особенности морфологической структуры и формирования статей руслового баланса. Учтены процессы формирования русловых фильтрационных потоков. Было выделено два характерных участка: Керки-Ильчик, Ильчик-Дарганата.

На первом участке основной формой фильтрации является ее формирование в виде подруслового потока. Второй участок представляет собой зону выклинивания подруслового потока в реку, чему способствует заглубленность узкой долины реки, врезанной в малопроницаемые коренные породы. Каждый

характерный участок реки имеет свою гипотезу формирования фильтрации. Учтены два важных фактора, которые во многом определяют режим реки: морфометрия русла и мутность потока.

Основные факторы, определяющие ширину и глубину потока реки: расход воды, уклон, диаметр донных наносов. В алгоритме программы использованы морфометрические зависимости Х.Исмагилова.

$$h = 0.25 * Q^{0.33} * (f * d)^{0.17} / (g * i)^{0.17} \quad (1)$$

$$B = 0.5 * Q^{0.5} / (f * g * i)^{0.25} \quad (2)$$

где: Q – расход воды, m^3/c ; i – уклон; d – средний диаметр частиц данных отложений, m ; f – коэффициент, учитывающий сопротивление размыву грунтов, слагающих берега реки (для легкоразмываемого грунта); g – ускорение силы тяжести.

Факторы, формирующие русловые потери и фильтрацию: расход воды (на расчетном участке и выше по течению), ширина потока, испаряемость, мутность потока. Для определения мутности потока использовались эмпирические зависимости отдела русел САНИИРИ, для среднего течения Амударьи ($кг/м^3$):

$$p_1 = 0.0035Q \quad (3)$$

$$p_2 = 0.0025Q \quad (4)$$

где: p_1, p_2 – мутность потока, для периодов: январь-май и июнь-декабрь.

Русловая фильтрация (потери притока) рассчитывается следующим образом.

Для участка Керки-Ильчик (1 участок):

$$P_{ф.н.и. j}^I = K * a * L_{ij} * Q_{ij}^n * P_{ij}^m \quad (5)$$

Для участка Ильчик-Дарганата (2 участок):

$$P_{ф.пр. ij}^{II} = K * \beta * B_{ij} * L_{ij} (P_{ф.н.и. j}^I)^t \quad (6)$$

где: $P_{ф.н.и. j}^I, P_{ф.пр. ij}^{II}$ – объем фильтрационных потерь (ф.п.) и фильтрационного притока (ф.пр.) соответственно для I, II участков в i месяц j -го года, $млн.м^3$; Q_{ij} – средний расход воды на участке, $м^3/с$; p_{ij} – средняя на участке мутность, $кг/м^3$; B_{ij}, L_{ij} – ширина русла и длина участка, $км$; α, β, m, t – безразмерные опытные коэффициенты; K – коэффициент расхода воды в объем стока за месяц.

Гидродинамическое моделирование основано на использовании для описания моделируемых процессов уравнений математической физики. Исходная система уравнений состоит из уравнений сохранения массы и уравнения движения.

$$i_0 - \frac{\partial h}{\partial S} = \frac{a}{g} V \frac{\partial V}{\partial S} + \frac{a}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V|V|}{C^2 R} + \frac{qV}{q\omega} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial S} = q \quad (8)$$

где координата расстояния S и время t – независимые переменные: глубина h и средняя скорость V – их функции; площадь живого сечения (ω) – известная функция глубины; расход Q определяется как произведение V и (ω); C – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус; g – ускорение силы тяжести; q – боковой приток на единицу длины; a – коэффициент неравномерности распределения скоростей по поперечному сечению (обычно a принимают равным единице).

Было принято, что имеется однозначная зависимость расхода воды от площади живого сечения потока – $Q = f(\omega)$, то есть:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial \omega} * \frac{\partial \omega}{\partial t} \quad (9)$$

Решая совместно уравнения (8) и (9) получим:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \pm \frac{\partial Q}{\partial \omega} * \frac{\partial \omega}{\partial S} = q * \frac{\partial Q}{\partial \omega} \quad (10)$$

Для среднего течения Амударьи получена зависимость:

$$\frac{\partial Q}{\partial \omega} = 1.2 V \quad (11)$$

Здесь: $\frac{\partial Q}{\partial \omega}$ - скорость волнового расхода.

- скорость потока воды в реке, полученная по зависимостям (1) и (2) в предложении $V = Q/B * h$.

Подставляя (11) в уравнение (10) получим:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 1.2 * V \frac{\partial Q}{\partial S} = 1/2 * V * q \quad (12)$$

Уравнение (12) хорошо аппроксимируется существующими разностными схемами и известно в литературе как одномерное уравнение кинематической волны (такое волновое движение называют также квазиустановившимся). Здесь q – боковой приток (на единицу длины) включает в себя также: водозабор, потери (с обратным знаком), КДС и фильтрационный русловой приток в реку.

Численная реализация модели сводилась к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих баланс и движение воды при известных начальных и граничных условиях явной разностной схемой. Явная схема удобна для реализации на ЭВМ, но устойчива при выполнении определенного условия по соотношению шагов пространственно-временной сетки ($\Delta S * \Delta t$). В алгоритме для устойчивости разностной схемы при шаге времени $\Delta t = 2$ часа длина расчетного участка принята $\Delta S = 20$ км. Русло реки разделено на 25 расчетных участка, а весь период расчета (10 дней) на 120 шагов продолжительность в 7200 сек. Временной интервал расчета, выводимый для пользователя – сутки.

Компьютерная программа обеспечивает расчет трансформации стока реки в среднем течении на участке Керки-Дарганата при заданных значениях гидрографа среднесуточных расходов воды в створе Керки, заданных начальных расходов реки (на начало расчета) в расчетных створах (Чарджоу, Ильчик, Дарганата), а также значениях водозабора и сброса коллекторных вод по участкам.

Информация для отладки модели и имеющиеся фактические характеристики гидрологического, наносного и водно-солевого режимов реки, водозаборов в ирригационные каналы и сбросов коллекторного стока в реку (данные БВО "Амударья", Управления эксплуатации Тюямуянского гидроузла).

Оценивая возможность использования данного подхода (кинематическая волна) для реки Амударьи

были определены по фактическим данным значения времени добегания для водомерных постов на участках Керки-Ильчик и Ильчик-Дарганата. Время добегания определялось по моментам поступления экстремальных значений среднесуточных уровней на постах.

Полученные фактические значения $t_{\text{фак}}$ сравнивались с расчетными $t_{\text{рас}}$.

$$t_{\text{рас}} = L / V \quad (13)$$

где: $t_{\text{рас}}$ – расчетное значение времени добегания, сек; L – длина расчетного участка, м; V – скорость потока, м/с.

При изменении средних расходов воды на участках в пределах $Q = 500 \dots 3500 \text{ м}^3/\text{с}$ значения расчетного времени добегания составили:

- для участка Керки-Ильчик $t_{\text{рас}} = 3.5 \dots 1.5$ суток;
- для участка Ильчик-Дарганата $t_{\text{рас}} = 2.5 \dots 1.0$ суток.

Таким образом от Керки до Дарганата паводковая волна проходит за 2.5...6 суток. По фактическим данным значения этой характеристики изменяются от 1 до 7 суток.

Интенсивность распластывания волны (отношение максимальных значений расхода в нижнем и в верхнем створах) наблюдается только на первом участке (Керки-Ильчик). На втором участке (Ильчик-Дарганата) вследствие небольшого водозабора и фильтрационного притока в русло максимальный расход паводковой волны мало изменяется, что характерно для движения кинематических волн на транзитных участках.

Компьютерная модель может работать в автономном режиме, а также во взаимосвязи с другими моделями (например, с балансовой моделью внутригодового планирования режимов реки или моделью гидрометрического учета – перспективной разработкой отдела КРСР) и базой данных, объединенными общим интерфейсом в единый комплекс.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Т.А. Алтыев, председатель

Исполнительный Комитет Международного Фонда спасения Арала

(Республика Казахстан)

Аральское море – крупнейший водоем, расположенный в центре среднеазиатских пустынь, до снижения уровня по размерам площади зеркала водной поверхности (63400 км²). Среди бессточных водоемов оно занимало второе место после Каспия.

Аральское море не имеет стока. Принимает воду крупнейших рек – Амударьи и Сырдарьи.

В 1910-1960 годах, когда уровень моря держался сравнительно устойчиво, в Арал поступало в среднем 54,5 км³ в год, т.е. около половины стока формирующегося стока в горной части бассейна.

Начиная с 60-х годов, море потеряло более 75% объема своей воды и более 50,5% территории, отступая от своих старых берегов местами на 100-120 километров.

Вот уже более 30 лет Аральское море и его проблемы привлекают внимание мировой общественности. Были приняты важные постановления и рассмотрены серьезные проекты по борьбе с негативными явлениями в этом регионе.

Мировой опыт существования человечества в этом регионе показал, что сельское хозяйство – основная отрасль экономики стран ЦАР могла существовать и развиваться только при орошении земель, а вода для населения региона была источником жизни и процветания.

В Центральноазиатском регионе вопросы региональных водных отношений, объективное водораспределение между хозяйствующими субъектами, принадлежащими разным государствам, разным