

(in Uzbek)

*Saidova S.R.* Vnutrisutochnyy hod mutnosti vody rek pool Chirchika [Daily variation of water turbidity in the rivers of the Chirchik basin] // Sb. nauch. trudov TashGU. – 1976. – N 523. – S. 85-95. (in Russian)

*Sirlibaeva Z.S.* K voprosu o raschete maksimalnih rashodov vzveshennih nanosov na rekax basseynе Karadari [On the issue of calculating the maximum discharge of suspended sediment on the rivers of the Kara Darya basin] // Sb. nauch. trudov TashGU. – 1980. – N 624, – S. 43-49. (in Russian)

*Tashmetov H.K.* Geneticheskiy analiz stoka vzveshennih nanosov gornih rek Gruzii [Genetic analysis of suspended sediment runoff in Georgian mountain rivers] / Tezisy dokladov Respublikanskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodih uchenih i spetsialistov po vodnomu hozyaystvu “Vnedrenie NIR v vodnoe hozyaystvo”. – Tashkent, 1981. – S. 142-144. (in Russian)

*Xikmatov F.X.* Vodnaya eroziya i stok vzveshennix nanosov gornih rek Sredney Azii [Water erosion and suspended sediment runoff in mountain rivers of Central Asia]. – Tashkent: "Fan va texnologiya", 2011. – 248 s. (in Russian)

*Chalov R.S.* Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsesov [Geographical studies of channel processes]. – M.: Izd-vo MGU, 1979. – 232 s. (in Russian)

*Shamov G.I.* Rechnye nanosy [River sediment]. – L.: Gidrometeoizdat, 1959. – 378 s. (in Russian)

*Sheglola O.P.* Geneticheskiy analiz i kartografirovaniye stoka vzveshennykh nanosov rek Sredney Azii [Genetic analysis and mapping of suspended sediment flow in rivers of Central Asia]. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – 127 s. (in Russian)

*Shults V.L.* Reki Sredney Azii [Rivers of Central Asia]. Ch. 1,2. – L.: Gidrometeoizdat, 1965. – 691 s. (in Russian)

УДК 556.54.133

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

Т.А. АХМЕДОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, t.akhmedova1962@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье описан метод отсеков с применением системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Используя данный метод можно составить прогноз развития ситуации и предложить мероприятия по предотвращению распространения загрязнения, его локализации и, в конечном итоге, предотвращению ущерба, как природной среде, так и экономике. При разработке метода расчета переноса загрязняющих веществ в поверхностных водах выявлены условия перехода от дифференциальных уравнений к системе обыкновенных алгебраических уравнений. Расчеты выполнены по данной модели на примере участка реки Чирчик, для которого известны основные источники загрязнения.

**Ключевые слова:** сток, уравнение, сосредоточенный приток, загрязняющие вещества, бассейн реки, модель, качество воды, мероприятия, дифференциальное уравнение.

**Введение.** Ухудшение качества поверхностных вод происходит из-за наличия различных видов загрязнителей от деятельности человека, такие как сельское и коммунальное хозяйство, промышленность, строительство и т.д. Таким образом, наличие

<sup>1</sup> t.akhmedova1962@gmail.com, +998 90 350-35-95

различных загрязнителей в водных объектах может привести к ухудшению качества поверхностных вод.

Для проектной и эксплуатационной практики с одной стороны необходима достаточная точность решения оценки качества поверхностных вод, а с другой - высокая оперативность, позволяющая производить массовые расчеты исследуемых объектов и оценивать возможное развитие ситуации.

В настоящее время наиболее действенным путем сочетания этих свойств являются экспресс – методы, т.е. методы, позволяющие быстро и с достаточной для практических целей точностью определить скорость распространения и концентрацию загрязняющих веществ в водотоках, т.е. составить прогноз развития ситуации и предложить мероприятия по предотвращению распространения загрязнения, его локализации и, в конечном итоге, предотвращению ущерба, как природной среде, так и экономике.

Инженерные задачи, решаемые в природоохранной практике, часто требуют быстрого принятия хорошо обоснованных решений. А современные инструменты, имеющиеся в наличии, не позволяют этого сделать. В работе [Дружинин, Шишкин, 1989] указано, что широко распространенное математическое моделирование, даже с использованием персональных компьютеров, требует значительных затрат времени во всяком случае на подготовку исходных данных. С другой стороны, практика чаще всего не требует использования точного моделирования, точного совпадения используемых моделей с фактически происходящими процессами. Как отмечено, одним из наиболее важных факторов, который должен быть принят во внимание при расчете распространения и трансформации загрязняющих веществ в водных объектах, является именно адекватность фактически происходящих в природной среде процессов применяемым моделям. Там же, показано, что существует большое количество моделей различной сложности, по которым можно вести исследования распространения загрязняющих веществ в водных объектах, исследованы границы применимости моделей и выработаны рекомендации по их практическому применению.

Интенсивное хозяйственное использование водных источников с одной стороны и повышение требований к качеству забираемой из них с другой, ставит ряд задач, от правильного решения которых зависит экологическая безопасность водных объектов.

Наиболее важными из них являются: определение концентраций загрязняющих веществ в водных объектах; исследование распространения загрязняющих веществ под воздействием естественных природных факторов и специальных инженерных мероприятий, необходимых для регулирования качества воды, как в водных объектах, так и на водозаборах; оценка фактического состояния качества воды водного источника и прогноз его изменения.

Исследуемая река относится к наиболее изученным речным бассейнам Центральной Азии. Постоянные и многолетние комплексные наблюдения, проводимые Узгидрометом и специализированными институтами, позволили к настоящему времени получить достаточно подробную картину развития процессов изменения качества поверхностных вод, вызванных антропогенным воздействием [Рубинова, 2005].

В республике проводились работы по оценке гидрологических и гидрохимических характеристик реки Чирчик в разные периоды. Однако после достижения независимости Узбекистана целенаправленных мониторинговых исследований в полной мере не проводились.

Цель работы разработка оперативного метода расчета распространения загрязняющих веществ в поверхностных водах.

**Объект исследования.** Река Чирчик – один из крупнейших водотоков Ташкентской области Республики Узбекистан, вода которой используется для хозяйственно-питьевых, культурно-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных нужд (рис.1).

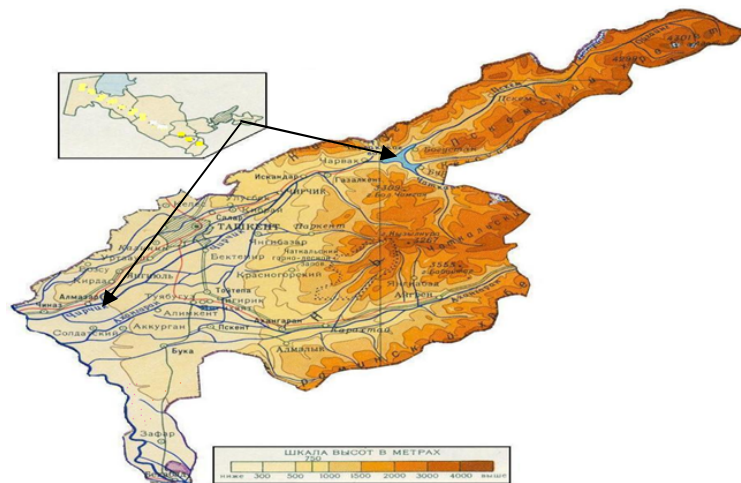


Рис. 1. Местоположение объекта исследования

Fig. 1. Location of the research object

**Материалы исследования.** В работе использованы архивные материалы гидрометфонда Агентства гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, материалы прежних статей автора, статей в соавторстве Е.М.Видинеевой, Ю.М.Денисовым, Д.Р.Базаровым, а также статьей Ф.Э.Рубиновой, Ю.Н.Иванова, Н.И.Дружинина, А.С.Шайна, G.K.George и других.

**Методы исследования.** Для обоснования первоочередных мероприятий по улучшению гидроэкологического состояния р. Чирчик и выработки стратегии управления качеством воды необходимо иметь численные оценки, позволяющие сравнивать степень воздействия различных источников загрязнения. Эта задача решалась с помощью математического моделирования процессов переноса загрязняющих веществ в р. Чирчик.

Для задач, решаемых при разработке природоохранных мероприятий, связанных в основном, с разработкой прогнозов распространения загрязняющих веществ в поверхностных водах различных водных объектов, достаточно хорошим и надежным инструментом является математическое моделирование. Основу такого моделирования составляют уравнения механики турбулентного потока. Такие уравнения могут быть использованы для описания многочисленных практически важных процессов и явлений в водной среде [Денисов, Ахмедова, 2002].

Для принятия обоснованных решений и рекомендаций по мероприятиям охраны водных объектов от загрязнения необходимо не только производство гидрохимических наблюдений, но и методика расчета для получения численных оценок степени загрязнения вод от различных источников и переноса загрязняющих веществ поверхностными водотоками.

В последние годы разработано большое количество математических моделей изменения качества воды, которые при определенных условиях могут быть использованы для прогнозных расчетов.

При наличии сосредоточенных и распределенных притоков и оттоков вдоль водотока достаточно эффективным является метод, предложенный Ю.М.Денисовым и

М.З.Зияходжаевым [Денисов, Зияходжаев, 1977], в котором учитывалась продольная сила потока, приводящая к появлению второй частной производной скорости потока по его длине. Этот метод трудоемок при численной реализации.

Задача была решена Ю.М.Денисовым и Т.А.Ахмедовой методом отсеков и применением системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка без использования нерегулярной дельта функции Дирака. Кроме того, выявлена возможность перехода от дифференциальных уравнений к системе обыкновенных алгебраических уравнений.

Очевидно, что для конкретной реки предварительно необходимо создать схему расположения объектов – сосредоточенных источников загрязнения вод, выделить береговые участки с возможным загрязнением реки от распределенного загрязнителя, наметить створы на реке, которые определяют границы отсеков. Желательно, чтобы границы отсеков совпадали с местом проведения контрольных наблюдений за гидрохимическим состоянием вод.

В этом случае появляется возможность определения значений необходимых «исходных» величин на входе потока в отсек и контроля расчетных значений концентрации загрязняющих веществ в воде на выходе потока из отсека. Для уравнений балансов используется схема притоков и оттоков для отсека.

Пусть определено  $N$  отсеков, а также количество сосредоточенных притоков  $N_p$  и водозаборов  $N_z$  для каждого из отсеков (рис.2).

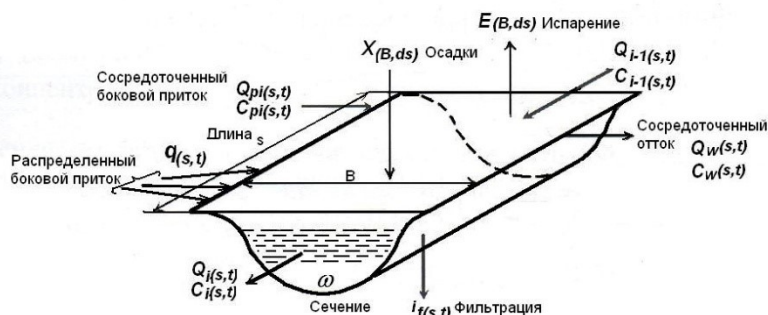


Рис. 2. Схема к выводу уравнений баланса воды и веществ в водном отсеке

Fig. 2. Diagram for the derivation of the equations of balance of water and substances in the water compartment

Уравнение водного баланса  $i$ -того отсека (индекс  $i$ -того отсека для упрощения записи пропущен, где это возможно) имеет вид:

$$\frac{dW}{dt} = Q_{i-1} - Q_i - Q_f + \sum_{j=1}^{N_p} Q_{Pj} - \sum_{m=1}^{N_z} Q_{Zm} + (a_x - E)BS + q_p S, \quad (1)$$

где:  $Q_{i-1}, Q_i$  – расходы соответственно на входе и на выходе  $i$ -того отсека;  $Q_f$  – расход на фильтрацию;  $Q_{Pj}, Q_{Zm}$  – сосредоточенные расходы  $j$ -того притока и  $m$ -вого водозабора;  $(a_x - E)$  – разность интенсивностей осадков на водную гладь и испарения с нее;  $B, S$  – соответственно средняя ширина отсека и его длина;  $q_p$  – распределенный по длине  $S$  боковой приток к отсеку.

Обозначив  $\omega$  – площадь живого сечения потока;  $u$  – среднюю по  $\omega$  скорость течения воды в отсеке, можно записать:

$$W = \omega S, \quad Q = \omega u \quad W = \frac{QS}{u}$$

Как показал В.М.Денисов [Денисов, 1982] средняя по живому сечению скорость течения воды на участке русла может быть представлена соотношением:

$$u = b \sqrt{\frac{QJ}{n_s^2}}, \tag{2}$$

где:  $J$  – уклон водной поверхности отсека;  $n_s$  – коэффициент шероховатости русла рассматриваемого отсека;  $b$  – параметр ( $b \approx 0,244$ ), подлежащий оптимизации.

Из этих соотношений следует:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{2S}{3b} \sqrt{\frac{n_s^2}{JQ}} \frac{dQ}{dt}$$

Отсюда:

$$\tau_Q \frac{dQ}{dt} = Q_{i-1} - Q_i - Q_f + \sum_{j=1}^{j=N_p} Q_{pj} - \sum_{m=1}^{m=N_z} Q_{zm} + (a_x - E)BS + q_p S, \tag{3}$$

где:  $\tau_Q = \frac{2S}{3b} \sqrt{\frac{n_s^2}{JQ}}$ . Здесь:  $\tau_Q$  – характерное время релаксации  $i$ -того отсека по его наполнению или опорожнению.

Уравнение баланса массы  $k$ -того загрязняющего вещества с концентрацией  $C_k$  в том же рассматриваемом отсеке:

$$\frac{dC_k W}{dt} = C_k(Q_{i-1} - Q_i) - C_{kf}^* Q_f + \sum_{j=1}^{j=N_p} C_{kpj} Q_{pj} - C_k \sum_{m=1}^{m=N_z} Q_{zm} + C_{kx} a_x BS + C_{kp} q_p S + \sum_r \varepsilon_{kr} W - \mu_k C_k W \tag{4}$$

где:  $\varepsilon_{kr}$  – переход  $k$ -того вещества в  $r$ -тое в единице объема в единицу времени (интенсивность его разложения или участия в химической реакции);  $\mu_k$  – постоянная распада  $k$ -того вещества с размерностью обратной времени  $[\mu_k] = c^{-1}$ ;  $C_{kf}^* = C_{kf}$  – при фильтрации из отсека в грунтовые воды ( $Q_f > 0$ );  $C_{kf}^* = C_{kG}$  – при фильтрации грунтовых вод в отсек ( $Q_f < 0$ ).

Поскольку

$$\frac{d(C_k W)}{dt} = W \cdot \frac{dC_k}{dt} + C_k \cdot \frac{dW}{dt}, \quad \text{то} \quad \frac{dC_k}{dt} = \frac{1}{W} \left( \frac{d(C_k W)}{dt} - C_k \frac{dW}{dt} \right). \tag{5}$$

Поставив в последнее выражение необходимые соотношения, в итоге получим:

$$\tau_C \frac{dC_k}{dt} = \frac{\tau_C}{W} [C_k(Q_{i-1}) - C_k^* Q_f + \sum_{j=1}^{N_m} C_{kpj} Q_{pj} + C_{kx} a_x BS + C_{kp} q_p S] + \tau_C \sum_{r=1} \varepsilon_{kr} - C_k \tag{6}$$

где:  $\tau_C$  – время релаксации концентрации веществ в  $i$ -том отсеке:

$$\tau_C = \left\{ \mu_k + \frac{1}{W} [Q_{i-1} - Q_f + \sum_{j=1}^{N_m} Q_{pj} + (a_x - E)BS + q_p S] \right\}^{-1} \tag{7}$$

Системы уравнений (1) и (4) для отсеков решаются методом Рунге-Кутты четвертого порядка при заданных начальных условиях и необходимых величинах, входящих в эти уравнения.

Конечно-разностная форма записи уравнений (1) и (4) включает шаг по времени  $\Delta t$ .

$$\tau_{Qi} \frac{dQ_i}{dt} = \frac{\tau_{Qi}}{\Delta t} [Q_i(t + \Delta t) - Q_i] \tag{8}$$

$$\tau_{Ci} \frac{dQ_{Ci}}{dt} = \frac{\tau_{Ci}}{\Delta t} [Q_{Cki}(t + \Delta t) - Q_{Cki}] \tag{9}$$

Отношение времени релаксации к шагу по времени  $\tau/\Delta t$  является важной характеристикой. Чем оно больше, тем больший вклад в дифференциальное уравнение вносит производная по времени или в нестационарность процесса.

**Основные результаты и их обсуждение.** Расчеты по данной модели с вычислением времени релаксации были проведены на примере участка реки Чирчик, для которой имелось несколько створов [Ахмедова, 2007], гидрохимические данные, а также

известны основные источники коммунально-бытового и промышленного загрязнения [Базаров, Ахмедова, 2006].

Участок реки представлялся состоящим из трех отсеков ( $i=1,2,3$ ) с длинами  $S_1=6500$  м,  $S_2=7200$  м, и  $S_3=5800$  м. Заданы: бытовой уклон  $I=0,001$ ; шероховатость  $n=0,030$ ; параметр  $b=0,236$ ; постоянная распада  $\mu=1 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ; шаг по времени  $\Delta t=1800$  с. В третьем отсеке нет притоков и водозабора (табл. 1). Фильтрационный и распределенный расходы, осадки и испарение. приняты нулевыми. Размерности: расходов в  $\text{м}^3/\text{с}$ , концентраций в  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Река представляется системой из  $n$  последовательно соединенных емкостей с объемами воды в них  $W_i$ , длиной каждого отсека  $S_i$  и расходами воды, вытекающими из них  $Q_i$  (рис. 3).

Таблица 1

Исходные данные для модельного расчета

Table 1

Initial data for the model calculation

Шаг J	Вход		1 отсек		2 отсек		1 отсек		2 отсек	
	$Q_{0j}$	$C_{0j}$	$Q_{p11j}$	$Q_{p12j}$	$Q_{z11j}$	$Q_{p21j}$	$Q_{z21j}$	$C_{p11j}$	$C_{p12j}$	$C_{p21j}$
1	51,2	112	8,7	6,3	13,7	16,2	5,2	337	638	316
2	61,4	152	12,3	2,8	4,6	20,6	12,1	235	284	520
3	93,7	95	5,6	25,7	21,3	7,7	15,6	516	557	207
4	72,1	68	18,3	11,5	9,2	30,1	10	183	175	130
5	105	52	15,7	17,3	7,3	25,1	12	138	113	95
6	119	61	13,2	18,8	8,1	22,3	8,2	121	131	118
7	131	72	10,8	14,0	2,3	19,1	4,3	147	215	137
8	128	77	21	11,7	1,5	14,7	3,4	215	273	212

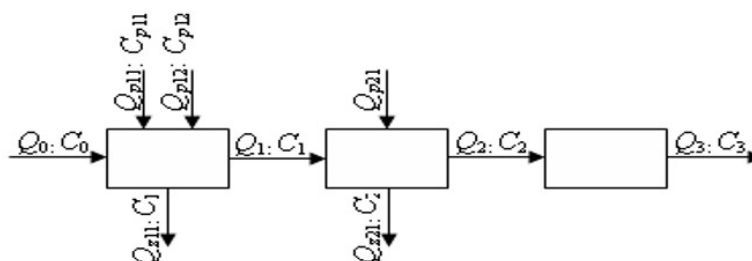


Рис. 3. Функциональная схема

Fig. 3. Functional diagram

Как видим, из таблицы 2, что время релаксации не превосходит 1,5 часов. В целом математическое моделирование физически правильно характеризует протекание процесса, описываемого дифференциальными уравнениями.

Следует отметить, что применение данных измерений с большим интервалом (ежемесячно) приводит к неустойчивости решений дифференциальных уравнений. При этом отношение  $\tau/\Delta t \approx 0,002$ , что практически сводит на нет влияние производной искомой величины по времени. В этом случае дифференциальные уравнения превращаются в обычные алгебраические уравнения.

Это позволяет сравнить фактические и рассчитанные концентрации загрязняющих веществ для каждого месяца года и построить график внутригодового хода концентраций

загрязняющих веществ. На рис. 4 для примера показана связь фактических величин концентрации нитритов с рассчитанными величинами (2 отсек) для среднего течения реки Чирчик. Коэффициент детерминации достаточно высок ( $R^2 = 0,96$ ).

Таблица 2

Результаты расчетов расходов и концентраций загрязняющих веществ для трех отсеков

Table 2

The results of calculations of costs and concentrations of pollutants for three compartments

Шаг J	1 отсек		2 отсек		3 отсек	
	$Q_{1j}$	$C_{1j}$	$Q_{2j}$	$C_{2j}$	$Q_{3j}$	$C_{3j}$
<i>Начальные значения вытекающих расходов воды и концентраций веществ в отсеках</i>						
1	57,3	215	55,1	183	48,4	195
2	60,2	209	59,1	208	51,4	192
3	70,8	209	61,5	226	54,5	196
4	80,2	198	67,7	221	58	201
5	92,1	160	78,9	206	62,7	201
6	109	129	90,8	186	71,8	196
7	125	112	105	164	82	186
8	138	107	119	148	94,2	173
<i>Среднее время релаксации</i>						
секунды	4017	4714	4638	5247	3967	4737
минуты	67	79	77	87	66	79
часы	1,12	1,31	1,29	1,45	1,10	1,32

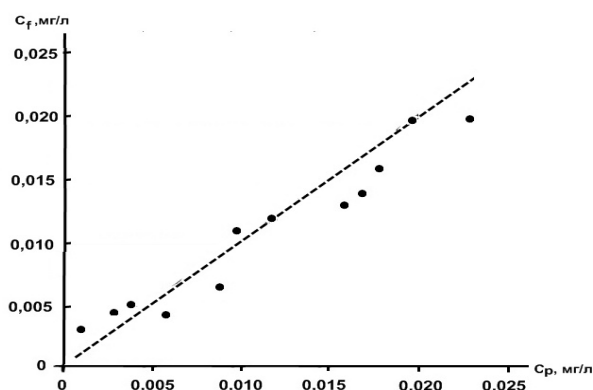


Рис. 4. График связи фактических величин  $C_f$  концентраций нитритов с рассчитанными величинами  $C_p$  (2 отсек)

Fig. 4. Graph of the relationship of the actual values of  $C_f$  concentrations of nitrites with the calculated values of  $C_p$  (2 compartment)

**Выводы.** Математическая модель переноса загрязняющих примесей в открытых водотоках позволяет с достаточной для практики точностью рассчитать концентрацию загрязняющих веществ в любом створе реки с учетом сосредоточенных и распределенных притоков и оттоков.

Учитывая современные недостатки мониторинга за возникновением опасных ситуаций с загрязнением вод, применение расчетных методов для оценки ситуаций представляется рациональным методом контроля.

Выполненные расчеты на фактическом материале и анализ полученной информации о фактическом состоянии реки Чирчик, позволил оценить степень влияния на качество воды отдельных источников загрязнения и предложить ряд мероприятий по защите речных вод для среднего течения р. Чирчик (от г.Газалкента до створа «в черте г.Ташкента»).

Совершенно очевидно, что в связи с дальнейшим экономическим развитием Ташкентской области и увеличением населения будет ежегодно возрастать и потребность в пресной воде, но уже в настоящее время население республики испытывает острый ее недостаток. Положительно решить эту проблему помогут следующие мероприятия:

- среди организационно-хозяйственных мероприятий важен в первую очередь, запрет на освоение водоохраной зоны дачными и фермерскими хозяйствами;

- гидроэкологические мероприятия предусматривают реконструкцию и модернизацию очистных сооружений 1-бассейна г. Чирчика (эффективность очистных сооружений 13,37-28,25%), и буферных прудов завода “Максам-Чирчик”, а также исключение сброса загрязненных вод в реку;

- агротехнические мероприятия включают насаждение по берегам реки специальных видов растений, например, камыш, которые способствуют очистке поверхностного стока;

- максимальное сокращение безвозвратных потерь при потреблении и более рациональное использование ресурсов;

- повторное использование очищенных бытовых и производственных стоков, а также перевод емких водопотребителей на оборотные схемы промышленного водоснабжения;

- улучшение технологических процессов с целью уменьшения водопотребления, основной задачей является полное прекращение сброса в реки неочищенных и необезвреженных промышленных стоков;

- улучшение технологии орошения земель. Орошение земель характеризуется большими безвозвратными потерями пресной воды. До сих пор во многих странах при транспортировке воды применяется строительство ирригационных каналов без противоильтрационной одежды. При этом потери составляют 25-40% общего их расхода.

В настоящее время профилактические мероприятия для обеспечения качества вод реки Чирчик уже проводятся, что, несомненно, способствует оздоровлению экологической обстановки региона.

## ЛИТЕРАТУРА

*Алаудинов Д.Х., Домладжанов К.А., Царев Б.К.* Классификация створов на реке Чирчик на основе меры сходства по гидрохимическим данным // Тр. САНИГМИ. – 1998. – Вып. 155(236). – С. 143-152.

*Ахмедова Т.А.* Метод отсеков для расчета движения воды и растворенных в ней веществ в реке // Доклады Академии Наук РУз. – 2007. – №2. – С.51-59

*Ахмедова Т.А., Видинеева Е.М., Гафуров А.А.* Загрязнение реки Чирчик биогенными веществами / Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ». Санкт-Петербург, 22-24 октября 2020 г. – С. 289-292.

*Базаров Д.Р., Ахмедова Т.А.* Основные источники коммунально-бытового и промышленного загрязнения реки Чирчик // Вопросы мелиорации. – 2006. – №5-6. – С. 44-47

Денисов Ю. М., Ахмедова Т.А. Математическая модель формирования гидрохимического режима реки / Материалы конференции «Проблемы перехода на рыночные отношения в отраслях водного хозяйства и мелиорации Узбекистана». Ташкент, 2002. – С. 45-47.

Денисов Ю.М., Зияходжаев М.З. О движении воды в руслах рек (каналов) с учетом динамических возмущений // Известия АН РУз. Серия технических наук. – 1977. – №6. – С. 53-56.

Денисов В.М. О средней скорости равномерного движения безнапорных турбулентных потоков // Тр. САНИИ Госкомгидромета. – 1982. – Вып. 94(175). – С. 66-74.

Дружинин Н.И. Шишкин. А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 389 с.

Рубинова Ф.Э., Иванов Ю.Н. Качество воды рек бассейна Аральского моря и его изменение под влиянием хозяйственной деятельности. – Ташкент: НИГМИ, 2005. – 185 с.

Шайн А.С. Интегральные оценки и их использование при долгосрочном прогнозировании качества воды рек // Комплексные оценки качества поверхностных вод. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – С. 24-33.

George G.K., Arundev R., Parvathy M., Seethal P.V., Sanjith P. Water quality analysis of edappally canal using gis mapping // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2017. Vol. 04, Is. 04, – PP. 1664-1669.

Chapman D.V., Bradley C., Gettel G.M., Hatvani I.G., Hein T., Kovacs J., Liska I., Oliver D.M., Tanos P., Trasy B., Varbiro G. Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example // Environmental Science & Policy, 2016. Vol. 64. – PP. 141–154.

## ЕР УСТИ СУВЛАРИДА ИФЛОСЛАНТИРУВЧИ МОДДАЛАРНИНГ КЎЧИШИ ЖАРАЁНИНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ

Т.А. АХМЕДОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Гидрометеорология илимий-тадқиқот институти

**Аннотация.** Ушбу мақолада биринчи даражали оддий дифференциал тенгламалар тизимидан фойдаланган бўлимлар усули баён қилинган. Мазкур бўлимлар усулидан фойдаланиб, ер усти сувларида содир бўладиган вазиятнинг ривожланишини башорат қилиши, ифлослантирувчи моддаларнинг тарқалишини бартараф этиши, уни локализация қилиши ва охир оқибат табиий муҳитга ҳам, иқтисодиётга ҳам зарар етказилишининг олдини олиши чора-тадбирларини таклиф қилиши имконияти мавжуд. Ер усти сувларида ифлослантирувчи моддаларнинг тарқалишини ҳисоблаш усулини ишлаб чиқишда дифференциал тенгламалардан оддий алгебраик тенгламалар тизимига ўтиши шартлари аниқланди. Ушбу модель бўйича ҳисоб-китоблар жамланган ифлослантирувчи манбалари маълум бўлган Чирчиқ дарёси мисолида амалга оширилди.

**Калит сўзлар:** оқим, тенглама, жамланган, ирмоқ, ифлослантирувчи моддалар, дарё ҳавзаси, модель, сув сифати, тадбирлар, дифференциал тенглама.

## MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF TRANSPORT OF POLLUTANTS IN SURFACE WATERS

T.A. AKHMEDOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute

**Abstract.** The article describes the compartment method using a system of first-order ordinary differential equations. Using this method, it is possible to make a forecast of the development of the situation and propose measures to prevent the spread of pollution, its localization and, ultimately, the

prevention of damage to both the natural environment and the economy. When developing the method, the conditions for the transition from differential equations to a system of ordinary algebraic equations were identified. Calculations were performed using this model using the example of a section of the Chirchik River, for which the main sources of pollution are known.

**Keywords:** runoff, equation, concentrated inflow, pollutants, river basin, model. water quality, measures, differential equation.

## REFERENCES

Allaudinov D.X., Domlajanov K.A., Tsarev B.K. Klassifikatsiya stvorov na reke Chirchik na osnovemeri skhodstva po gidrokhimicheskim dannim [Classification of gates on the Chirchik River based on a measure of similarity according to hydrochemical data] // Tr. SANIGMI. – 1998. – №155 (236). – S. 143-152. (in Russian)

Akhmedova T.A. Metod otsekov dlya rascheta dvijeniya void i rastvorennikh v ney veshestv v reke [The method of compartments for calculating the movement of water and dissolved substances in the river] // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. – 2007. – №2. –S. 51-59. (in Russian)

Akhmedova T.A., Vidineeva E.M., Gafurov A.A. Zagryaznenie reki Chirchik biogennimi veshestvami [Pollution of the Chirchik River by biogenic substances] / International Scientific and Practical Conference "Modern problems of hydrometeorology and Environmental Monitoring in the SNG». Sankt-Peterburg, 22-24 October 2020. – S. 289-292. (in Russian)

Bazarov D.R., Akhmedova T.A. Osnovnie istochniki kommunalno-bitovogo i promishlennogo zagryazneniya reki Chirchik. [The main sources of municipal and industrial pollution of the Chirchik River] // Journal Land reclamation. – 2006. Issues №5-6. – S. 44-47. (in Russian)

Denisov Yu.M., Akhmedova T.A. Matematicheskaya model formirovaniya gidrokhimicheskogo rejima reki [Mathematical model of the formation of the hydrochemical regime of the river] / Conference materials "Problems of transition to market relations in the water management and land reclamation industry of Uzbekistan". Tashkent, 2002. – S. 45-47. (in Russian)

Denisov Yu.M., Ziyakhodjayev M.Z. O dvijenii vodi v ruslakh rek(kanalov) s uchedom dinamicheskikh vozmusheniy [On the movement of water in riverbeds (channels) taking into account dynamic disturbances] // Izvestia of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. Series of Technical Sciences. – 1977. – №6. – S. 53-56. (in Russian)

Denisov V.M. O sredney skorosti ravnomernogo dvijeniya beznaporhikh turbulentnix potokov [On the average speed of uniform motion of non-pressurized turbulent flows] // Trudi SANII Goskomgidrometa. – 1982. – №. 94(175), – S. 66-74. (in Russian)

Drujinin N.I., Shishkin A.I. Matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie zagryaznenie poverkhnostnix vod sushi [Mathematical modeling and forecasting of land surface water pollution]. – L.: Gidrometeoizdat, 1989. – 389 s. (in Russian)

Rubinova F.E., Ivanov YU.N. Kachestvo void rek basseyna Aralskogo moray i ego izmeneniya pod vliyaniem khozyaestvennoy deyatelnosti [The water quality of the rivers of the Aral Sea basin and its change under the influence of economic activity]. – Tashkent: 2005. –185 s. (in Russian)

Shayn A.S. Integralniye otsenki i ikh ispolzovanie pri dolgosrochnom prognozirovanie kachestva vodi rek [Integral estimates and their use in long-term forecasting of river water quality] // Comprehensive assessment of surface water quality. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – S. 24-33 (in Russian)