

УДК 502/504:631.6

Т. Ю. ХАШИРОВА

Кабардино-Балкарский государственный университет

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВОПРОСАХ ОХРАНЫ И МЕЛИОРАЦИИ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ

*Предлагается имитационная модель по управлению твердым стоком на горных и предгорных ландшафтах. Объектами исследования были определены природно-техногенные комплексы природообустройства. Предметом исследования являются закономерности влияния техногенного блока управления на природный процесс движения твердого стока на горных и предгорных ландшафтах.*

*Горные и предгорные ландшафты, имитационная модель, управление твердым стоком.*

*There is proposed a simulation model of solid run-off control on mountain and sub-mountain landscapes. Natural and technical complexes of environmental engineering were chosen for researches. The object of studying is the influence regularities of the technical control block on the natural process of solid run-off movement on mountain and sub-mountain landscapes.*

*Mountain and sub-mountain landscapes, simulation model, control of solid run-off.*

Изучение природно-техногенных комплексов должно проходить с учетом их сложности, чувствительности и адаптивности к экзогенным воздействиям. Для этого анализируют и описывают работу системы в целом, рассматривают особенности всех взаимосвязей и внутреннего строения. Это означает, что учитывают взаимосвязь отдельных элементов исследуемой системы как структурных частей сложной системы и заявляют о роли каждого из элементов в общем процессе функционирования всей системы. Такое изучение наиболее эффективно можно провести с позиций системного анализа. При системном подходе используют математический аппарат теории исследования операций и методы неформального анализа: опрос, эвристические, машинную имитацию. Значимой частью исследования является выбор способа описания происходящих изменений и формализация такого описания, которая осложняется сочетанием разнотипных факторов, характеризующих систему (сочетание экологических, экономических и других факторов) [1]. Для анализа природно-техногенных комплексов автор использовала метод имитационного моделирования, который благодаря своей универсальности позволил наиболее полно применить полученные теоретические и экспериментальные результаты.

Цель проведенного исследования заключалась в создании имитационной модели по управлению твердым стоком на горных и предгорных ландшафтах. Объекты исследования – природно-техногенные комплексы природообустройства. Предмет исследования – закономерности влияния техногенного блока управления на природный процесс движения твердого стока на горных и предгорных ландшафтах.

Природно-техногенный комплекс (горные и предгорные ландшафты на территории Кабардино-Балкарской Республики) рассматривали в однородных гидрологических районах [2], с этой целью вся территория республики была разделена на районы (камеры) по водосборам рек Малка, Баксан, Чегем, Черек, Урух, Терек с учетом климатических особенностей (рис. 1а).

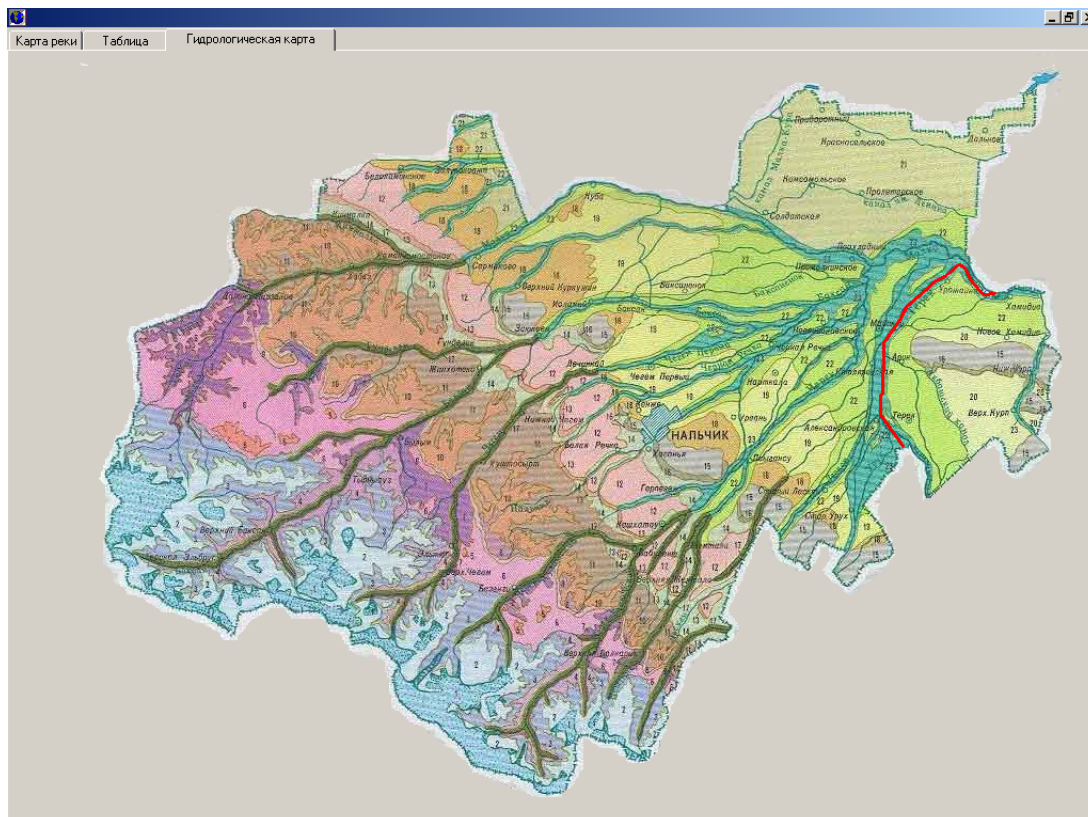
Горная часть республики (камеры 1, 2, 3, 4) находится в зоне достаточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков здесь колеблется от 550 до 880 мм. До высоты 200 м над уровнем моря горные почвы используются для земледелия. Камеры 5, 6, 7 расположены в предгорной зоне, характеризующейся волнистым рельефом. Количество выпадающих здесь осадков меньше, чем в горной зоне, и составляет 460...615 мм в год.

Рельеф степной зоны (камеры 8, 9) более гладкий. Климатические условия

характеризуются недостаточным увлажнением с неравномерным распределением осадков по периодам. Среднегодовое количество осадков составляет 425...500 мм.

Все камеры соединены между собой через русловые потоки рек и имеют только

один выход, связывающий их с нижележащими камерами. В соответствии с разбиением региона на камеры строится ориентированный граф связей (рис. 1б), вершинами которого являются камеры, а дуги соответствуют перетокам воды из вышележащих камер в нижележащие.



а



б

Рис. 1. Горные и предгорные ландшафты на территории Кабардино-Балкарской Республики (а) и граф связей камер горных и предгорных участков бассейна реки Терек (б)

Представленная имитационная модель имеет блочную структуру, дающую возможность описывать каждый моделируемый объект с помощью того математического аппарата, наиболее адекватного характеру процесса. При разработке системы имитационных моделей формирования твердого стока на горных и предгорных ландшафтах в качестве водного объекта выбирается река, относительно которой были сделаны некоторые предположения. Река условно разделена на камеры (районы), однородные по гидрологическому режиму. Камеры сообщаются по руслу реки, т. е. имеют только один вход и один выход. Каждая из оросительных систем, входящих в состав всей водохозяйственной системы, заключена в одну камеру (рис. 2, 3).

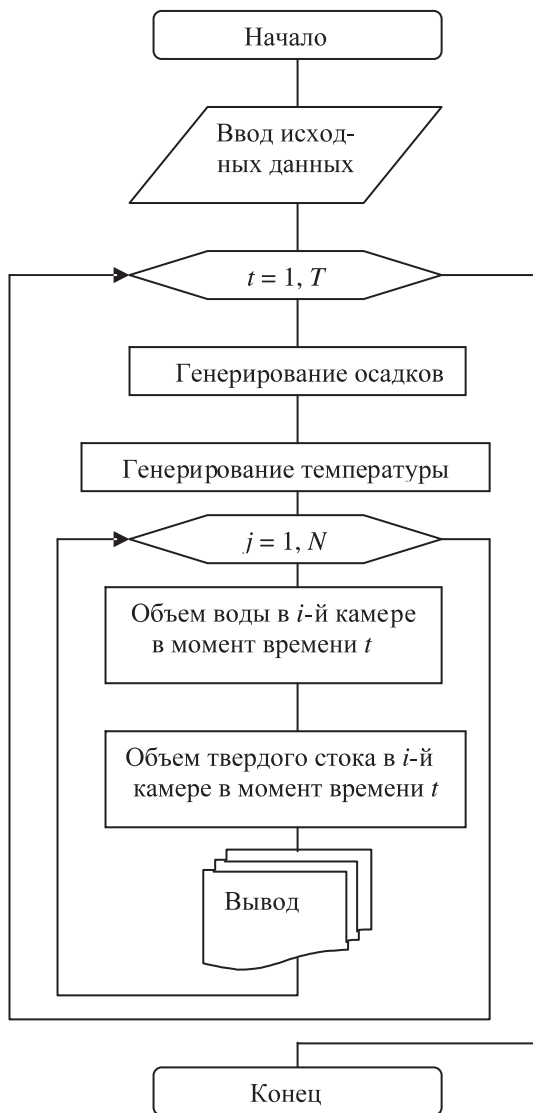


Рис. 2. Алгоритм модели

Имитационная модель реки дискретизирована по времени и по событиям. В блоках, дискретизированных по времени, моделируется состояние системы (притоки, расходы, требования) в последовательных временных интервалах. В предлагаемой модели временной шаг принят равным месяцу, поскольку регулярно собираемая информация такой шаг моделирования полностью обеспечивает. На первом шаге работы системы определяются объемы воды в каждой камере, в качестве которых берут среднееголетнее значение этой величины [3].

На каждом шаге задаются значения гидрометеорологических факторов: температуры воздуха и осадков. Для расчета объема твердого стока предназначен блок «Твердый сток». Входными параметрами в этом блоке являются объем воды в камере в данный момент времени и количество твердого стока.

Блок «Расход». В этом блоке определяется объем  $i$ -й камеры в момент времени  $t$  на основе уравнения водного баланса [2, 4]:  

$$V(t, i) = V(t - 1, i) + m(i - 1)V(t, i - 1) - m(i)V(t - 1, i) + Q(t) + S(t), \quad (1)$$
 где  $V(t, i)$  – объем воды в  $i$ -й камере в момент времени  $t$ ;  $m(i)$  – коэффициент уклона  $i$ -й камеры;  $Q(t)$  – количество осадков, выпавших в момент времени  $t$ ;  $S(t)$  – величина поверхностного стока в момент времени  $t$ .

Поступление воды в первую камеру генерируется на основе многолетних данных.

Блок «Осадки». В этом блоке величина генерируется на основе многолетних данных (рис. 4), эта величина измеряется в миллиметрах. Искомая эмпирическая формула имеет вид:

$$Q(t) = -1,94t^2 + 25,24t - 16,27, \quad (2)$$

где  $Q$  и  $t$  – осадки и временной шаг соответственно.

Блок «Температура». В этом блоке величина генерируется на основе многолетних данных, измеряется в градусах.

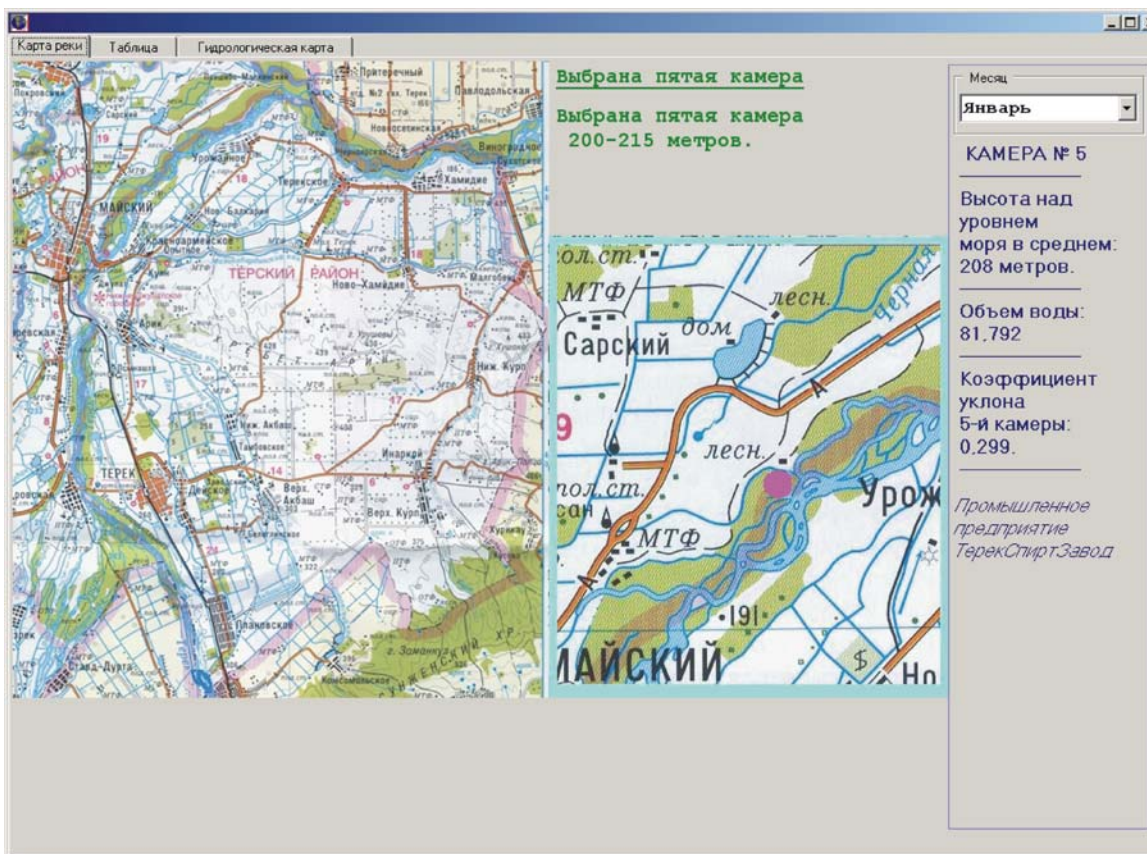
Искомая эмпирическая формула имеет следующий вид:

$$T(t) = -0,85t^2 + 11,77t - 20,969, \quad (3)$$

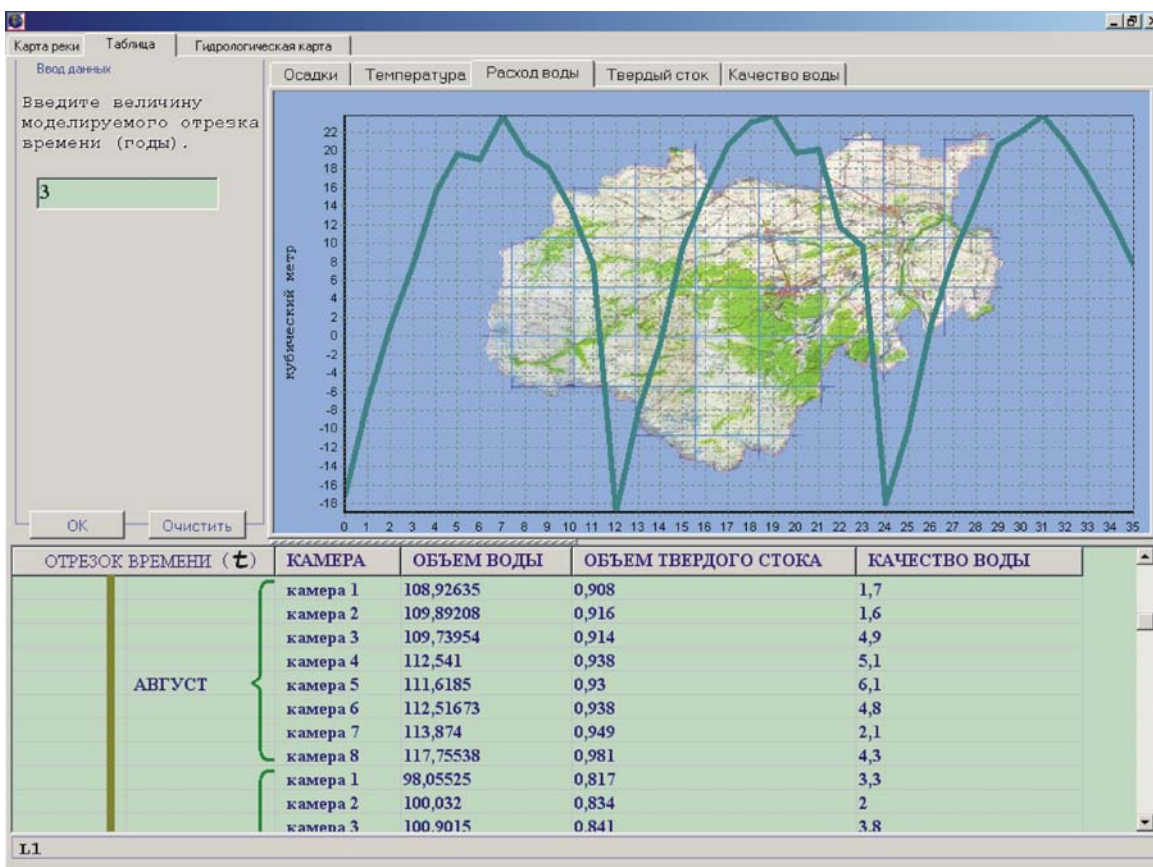
где  $T$  и  $t$  – температура и временной шаг соответственно.

Блок «Твердый сток». В этом блоке формируются, определяются значения твердого стока  $S(t)$  ( см. рис 3).

Донные наносы на горных и предгорных реках при определенных значениях скоростей начинают перемещаться.

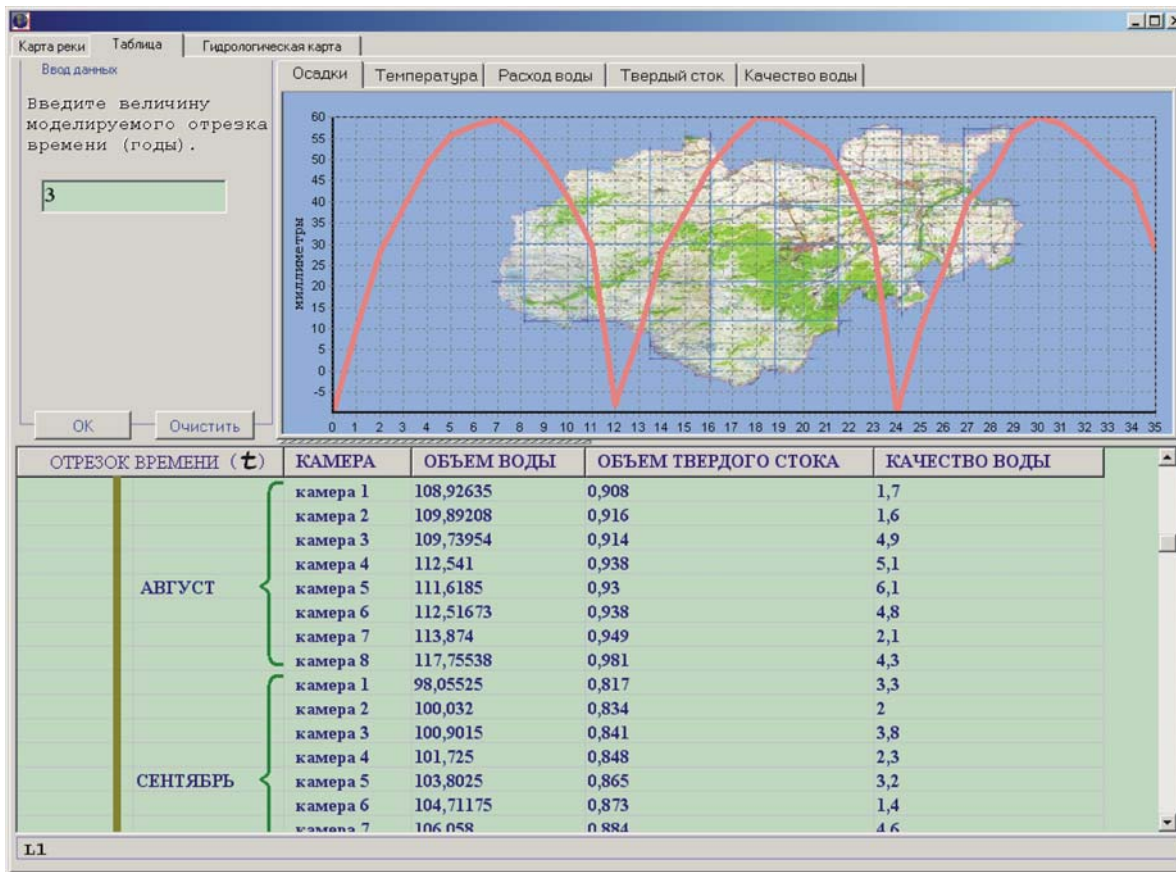


а

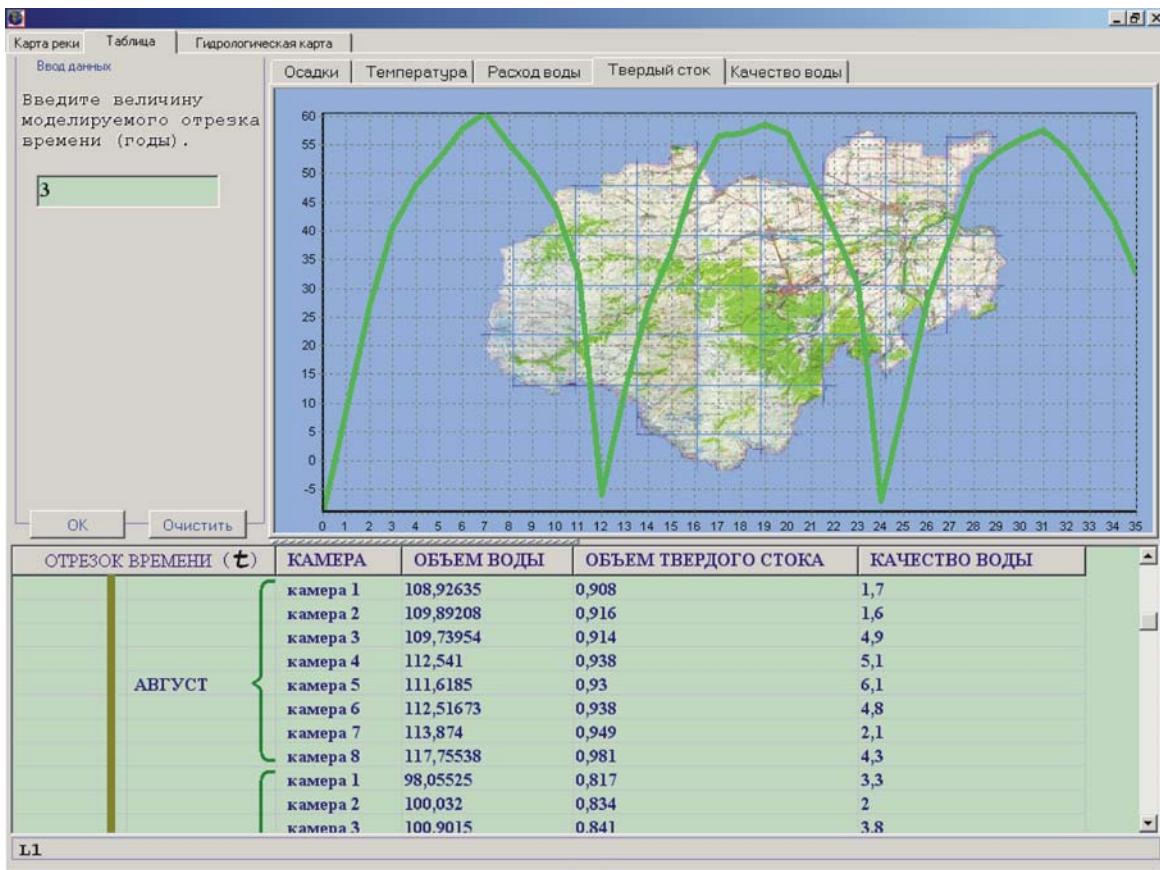


б

Рис. 3. Окно разбиения реки Терек на камеры (а) и ее гидрограф (б)



а



б

Рис.4. Распределение осадков во времени (а) и график формирования и движения твердого стока во времени (б)

В силу этого умение определять возможный сток и режим наносов имеет большое практическое значение для рационального проектирования и природопользования.

Для определения расхода донных наносов может использоваться методика, предложенная Я. И. Никитиным [1]. Предлагаемая методика является результатом обобщения материалов исследований Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации по расходу стока донных наносов на реках Средней Азии. Реки Средней Азии по своим условиям аналогичны рекам КБР, что позволяет, при отсутствии собственных исследований, использовать этот богатый материал.

Обобщение материала этих исследований показывает, что наиболее устойчивой является зависимость расхода донных наносов от расхода воды и уклона. Расход донных наносов можно выразить зависимостью

$$G = K(Q - Q_0)^n, \quad (4)$$

где коэффициент расхода  $K$  увеличивается с увеличением уклона реки  $I$ , а показатель степени остается постоянным,  $n = 2$ .

Характер изменения коэффициента расхода наносов  $K$  от уклона представлен Я. И. Никитиным в таблице. Аналитически это изменение можно выразить следующим уравнением:

$$K = 530I^{2.2}. \quad (5)$$

#### Изменение расхода наносов от уклона

$I$	0,00075	0,001	0,004	0,005	0,01	0,02
$K$	0,000063	0,00011	0,0032	0,005	0,019	0,055

Подставляя это значение  $K$  в уравнение (4), получим зависимость расхода донных наносов в секунду от расхода воды:

$$G = 530I^{2.2}(Q - Q_0)^3, \quad (6)$$

где  $G$  – расход донных наносов по сечению русла, кг/с;  $I$  – средний уклон реки;  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $Q_0$  – расход воды, при котором движение донных наносов только начинается.

Расход воды  $Q_0$  определяется по данным наблюдений, проведенных на реках Средней Азии, согласно которым отношение этого расхода к максимальному наблюдаемому расходу реки практически остается постоянной величиной для всех рек, т.е.

$$Q_0 \approx 0,1Q_{\text{макс}}. \quad (7)$$

По данным наблюдений делается вывод, что независимо от величины начального расхода воды, уклона и крупности наносов средняя скорость течения воды, при которой начинается движение донных наносов, практически остается постоянной, т.е.  $v_0 = \text{const} \approx 1,30$  м/с.

Это обстоятельство связано с неоднородностью состава наносов в предгорных условиях. Если при однородном составе наносов связь между предельной скоростью и началом движения наносов еще можно установить на основе известных в литературе методов, то при смешанном естественном составе наносов такую связь установить трудно, так как движение наносов в этом случае происходит в зависимости от увеличения скорости: сначала приходят в движение мелкие частицы, а затем – последовательно более крупные, кончая булыжниками [5]. При средней скорости около 1,30 м/с движения донных наносов практически не происходит, за исключением небольшого количества мелкого песка. Поэтому песчаные фракции учитывались поправкой, вносимой в замеренные расходы наносов на основе сопоставления механического состава проб наносов, уловленных прибором, с пробами из наносных отложений в русле реки.

Таким образом, в практических расчетах для приближенного определения расхода, при котором начинается движение донных наносов, можно пользоваться кроме зависимости (6) также и зависимостью этого расхода от начальной средней скорости течения воды, принимая ее равной около 1,30 м<sup>3</sup>/с.

Величина уклона, входящего в уравнение (5), определяется обычным способом по данным топографических съемок или специальных наблюдений [5, 6]. Если такие данные отсутствуют, то величина среднего уклона может быть приближенно определена по средней крупности наносов, слагающих русло реки, по установленной авторами на основе тех же наблюдений зависимости:

$$d_{\text{cp}} = 6000I, \quad (8)$$

где  $d$  – средний диаметр наносов, мм;  $I$  – уклон.

Средний диаметр наносов определяется по данным механического состава:

$$d_{\text{cp}} = \frac{\sum d_0 P_0}{100}, \quad (9)$$

где  $P_0$  – процент содержания фракций в пробе;  $d_0$  – средний диаметр фракций, мм.

Зная расход наносов и график изменения расхода, нетрудно подсчитать годовой сток донных наносов и установить его режим в течение года. Для большинства рек КБР, имеющих паводковые пики расходов воды, сток донных наносов практически сосредоточивается на коротком периоде этих паводков. Часто годовой сток наносов проходит за 1–3 месяца, а иногда и за более короткие сроки. Из наблюдений известно, что при одном и том же расходе воды в реке расходы наносов могут быть различные: при нарастании паводка расход наносов больше (так как за предшествующий период отложились более мелкие фракции), при спаде паводка – меньше (так как более мелкие фракции унесены потоком и русло выложено более крупными фракциями).

Зная расходы рек в паводковые периоды, можно прогнозировать расходы твердого стока на различных реках, а имея данные по морфологическим характеристикам русел рек, можно определить и возможные места их осаждения.

Блок «Качество воды». В этом блоке рассчитывается комплексная оценка качества воды, разработанная В. И. Гурарием и А. С. Шайн [4]. Ими предложена комплексная оценка качества воды на основе общесанитарного индекса, названного индексом качества воды, включающего 10 показателей, и индекса загрязненности, учитывающего одновременное присутствие в воде вредных веществ.

Качество воды в районе (камере) вычисляется по следующей формуле:

$$I = \left( \sum_{i=1}^n \gamma_i \omega_i \right) \cdot \prod_{i=1}^n \varphi(\omega_i, \gamma_i), \quad (10)$$

где  $\omega_i \in [1; 5]$ , ( $i = 1, 10$ );  $\gamma_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го показателя (значения этого показателя определяются экспертами). Для  $\gamma_i$  должно выполняться условие  $\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$ ;  $\varphi$  – штрафная функция [7];

$$\varphi_i = \varphi(\omega_i, \gamma_i) = \begin{cases} \frac{\gamma_i \cdot \sqrt{\omega_i}}{\gamma_k} + \left( 1 - \frac{\gamma_i}{\gamma_k} \right), & \omega_i \leq 3, \\ 1, & \omega_i > 3 \end{cases}$$

где  $\gamma_k$  – относительный вес колли-индекса ( $\gamma_k = \max\{\gamma_i\}, i = \overline{1, 5}$ ).

Разработанная модель по управлению твердым стоком может быть использована для исследовательских целей, а также в качестве демонстрационной модели в учебном процессе для студентов соответствующих специальностей.

1. **Хаширова Т. Ю.** Охрана горных и предгорных ландшафтов управлением твердого стока. – Нальчик: «Полиграфсервис и Т», 2007. – 220 с.

2. **Горстко А. Б.** Математическое моделирование и проблемы использования водных ресурсов. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1976.

3. **Хаширова Т. Ю.** Имитационное моделирование сложных систем: метод. указания. – Нальчик: КБГУ, 1996. – 16 с.

4. **Гурарий В. И., Шайн А. С.** Комплексная оценка качества воды // Проблемы охраны вод. – Вып. 6. – Харьков. – 1975. – С. 143–151.

5. **Хаширова Т. Ю.** Способ определения расхода наносов и их очистки на реках Кабардино-Балкарской Республики / Вопросы повышения эффективности строительства: сб. науч. трудов. – Нальчик: КБГУ, 2004. – С. 132–134.

6. **Хаширова Т. Ю.** Некоторые аспекты математического моделирования экологических систем // Материалы юбилейной конференции, посвященной 20-летию КБГСХА. – Нальчик. – 2001. – С. 102–103.

7. **Хаширова Т. Ю., Ермолаева Е. К.** Имитационная модель комплексной оценки качества природных вод / Вестник КБГУ. – Сер. физико-механические науки. – Вып. 1. – Нальчик: КБГУ, 1996.

Материал поступил в редакцию 01.06.10.  
**Хаширова Татьяна Юрьевна**, доктор технических наук, профессор  
Тел. 8-928-07-525-97  
E-mail: khashirova@mail.ru