

УДК 556 (073); 626/627(575.2) (04)

**ВЫБОР ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
И КЛИМАТА НА СТОК ГОРНЫХ РЕК КЫРГЫЗСТАНА***

Н.В. Еришова – аспирант

The four conceptual hydrological models of base on different approach and methods are considered in the article. Choice of the model PREVAH for studying of climate and land cover impact on Kyrgyzstan's rivers is proved.

Понятие “Гидрологическое моделирование” обычно означает применение математических и логических процедур, которые устанавливают количественные соотношения между характеристиками стока (выходные параметры модели) и стокоформирующими факторами (входные параметры модели).

Существующие гидрологические модели [1–6] охватывают большой спектр методических подходов. С одной стороны, это полностью эмпирические подходы типа “черного ящика”, не предназначенные для моделирования процессов, происходящих внутри бассейна и определяющих его реакцию, а устанавливающие соответствие потоков влаги на входе в бассейновую систему и выходе из нее. С другой стороны – подходы, предусматривающие решение сложных систем уравнений, базирующихся на физических закономерностях и теоретических концепциях, определяющих гидрологические процессы – так называемые “гидродинамические модели”. Между этими двумя крайними подходами находятся различные концептуальные модели. Эти модели представляют собой логическое объединение простых концептуальных элементов, например, линейных и нелинейных резервуаров и пото-

ков, которые воспроизводят процессы, происходящие в бассейне. И модели типа “черного ящика”, и концептуальные, и гидродинамические модели дают на выходе результаты без соответствующей оценки вероятностей наступления события. По этой причине их часто относят к *детерминированным* моделям.

Кроме детерминированных моделей в гидрологическом моделировании применяются стохастические модели, в которых основное внимание уделяется воспроизведению статистических характеристик гидрологических временных рядов без попыток моделирования соотношений вход-выход.

Перед автором стояла задача изучить воздействие вероятных изменений климата и подстилающей поверхности на режим рек, формирующихся в Кыргызстане, посредством моделирования, так как это один из общепринятых и достаточно надежных методов решения этой задачи. Для этой цели был изучен ряд доступных, концептуальных и универсальных гидрологических моделей, краткие характеристики некоторых моделей нами рассмотрены ниже.

Гидрологическая модель, разработанная в САНИГМИ [1] неоднократно применялась для горных рек Центральноазиатского региона. Модель состоит из двух блоков: расчета накопления и таяния снежного покрова и расчета трансформации водоотдачи бассейна в сток.

Функцией *первого блока* является:

* Работа выполнена при финансовой и технической поддержке Швейцарской программы научных исследований Север-Юг (NCCR).

- расчет распределения осадков на водосборе, при этом используется зависимость распределения осадков от высоты местности и факторов макрорельефа;
- расчет снегонакопления путем расчета баланса между поступлением твердых осадков и их таянием;
- расчет таяния снега;
- разделение осадков на жидкие и твердые.

Функцией *второго блока* является вычисление суммарного стока с учетом потерь на инфильтрацию. При расчете трансформации стока принимается, что воды проходят как бы через две емкости, обладающие различной пропускной способностью. Пропускная способность рассчитывается на основе нелинейной функции запасов воды в емкостях.

Географическим факультетом Бернского университета была предложена *Модель талого стока (МТС)*, предназначенная для прогнозирования суточного стока в горных бассейнах, где снеготаяние является главным фактором стока [2].

Расчет снеготаяния производится по многопараметрическому линейному уравнению, в котором сток в замыкающем створе зависит от площади заснеженности территории, температуры и осадков.

Уравнение, являющееся основой модели, имеет вид:

$$Q_{n+1} = [C_{sn}a_n(T_n + \Delta T_n)S_n + C_{Rn}P_n]A10000/86400(1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1},$$

где Q – среднесуточный расход m^3/c ; C_s – коэффициент стока для снега; C_R – коэффициент стока для дождя; a – фактор градус-день [$cm/^\circ C$]; ΔT – корректировка градиента температуры при экстраполивании температуры со станции к средней гипсометрической высоте бассейна или зоны [$^\circ C$]; S – отношение площади заснеженности к общей площади; P – вклад осадков в сток [cm], A – площадь бассейна [km^2]; n – последовательность дней в течение периода подсчета расхода; k – коэффициент регрессии, показывающий спад расхода в период без снеготаяния или дождя $k = Q_{m+1}/Q_m$; m , $m+1$ – последовательность дней в течение периода фактического падения стока.

Модель САНИГМИ и МТС будет успешно работать при составлении оперативных прогнозов для большинства рек Кыргызстана,

для которых снеготаяние имеет преимущественное питание в стоке. Но для изучения влияния изменений в подстилающей поверхности на сток эти модели не подходят, так как не учитывают ни один элемент подстилающей поверхности.

Модель NRM3, разработанная М.К. Томасом в 1993–94 гг. [6], является концептуальной, полупространственной моделью, построенной на физических принципах гидрологических процессов и оптимизирована к стандартным гидрометеорологическим измерениям. Модель использует ежедневные гидрометеорологические данные (осадки, испарение и сток), построена на основе географических информационных систем (ГИС) для того, чтобы представить пространственную неоднородность поверхности. Исходными ГИС слоями модели являются слои: бассейновой территории, речной сети, сети осадкомеров, сети испарителей, типов почв, высот и подстилающей поверхности. Используя концепцию неразрывности и гидрологических однородных участков (HRU) [4], модель подсчитывает водный баланс для каждой ячейки бассейна.

Основным преимуществом модели NRM3 является применение метода SCS для отделения поверхностного стока от подземного, что дает возможность прогнозировать паводки, вызванные обильными дождями. Подробная детализация в модели NRM3 подстилающей поверхности позволяет изучить влияние изменения подстилающей поверхности на сток. Но, к сожалению, для рек Кыргызстана эта модель не приемлема, так как не учитывает снегонакопление, снеговое и ледниковое таяние.

Гидрологическая *модель PREVAH*, разработанная Ж. Гурц, М. Цаппа и др. [5] в Швейцарском технологическом институте, является концептуальной, пространственной моделью. Описание модели PREVAH приведем более подробно, так как эта модель была выбрана в качестве основной для исследования.

Модельный комплекс PREVAH построен на принципе *гидрологических однородных участков* (HRU – Hydrological Response Unit) [4]. Концепция HRU заключена в допущении существования гидрологического подобия. HRU выделяются путем наложения картографических слоев: топографии, землепользования,

типов почв, геологии; и выделением участков с одинаковыми комбинациями этих характеристик при помощи ГИС технологий.

Модель для каждого гидрологического однородного участка бассейна подсчитывает водный баланс (см. рисунок). Элементы водного баланса в модели PREVAH описываются пятью отдельными подмоделями: формирования снежного покрова; перехвата; почвенной влаги и испарения; формирования стока; и концентрации стока.

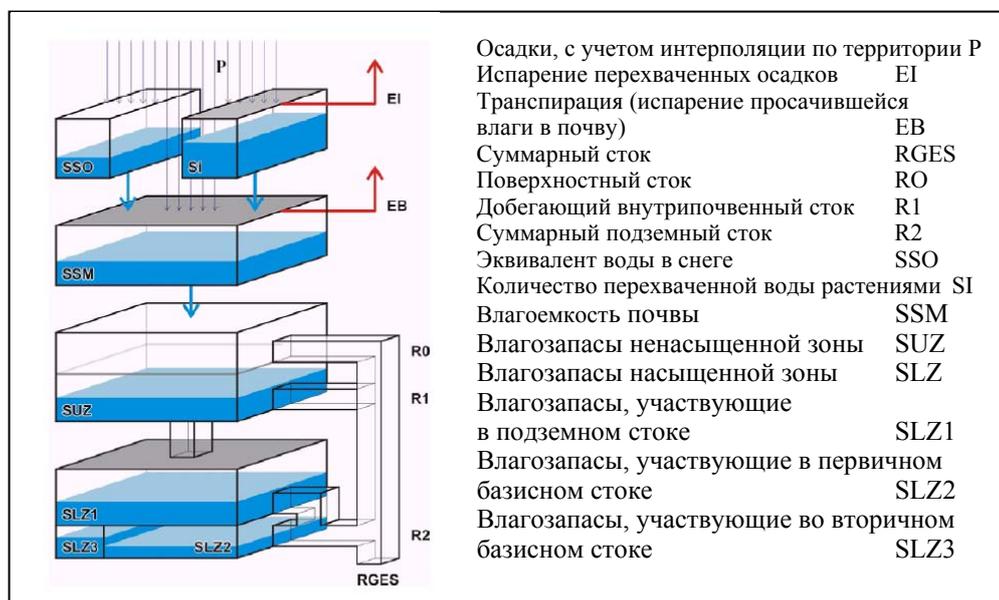
Подмодель формирования снежного покрова описывает процессы накопления и таяния снега, которые зависят от комбинации температурных индексов, и основывается на методе энергетического баланса. Удерживание и замерзание воды внутри снежного покрова учитывается при подсчете модели. Кроме этого для бассейнов, где есть оледенение, используется ледниковая подмодель.

Подмодель перехвата осадков растительностью основана на методе, предложенном Л. Мензель [7], в котором рассматривается перехват влаги как функция от типа растительности, включающая плотность растительно-

сти, стадию жизненного цикла растений и распространение растительности по территории.

Особое внимание в *подмодели почвенной влаги и испарения* было уделено подсчету суммарного испарения (эвапотранспирации). Эвапотранспирация подсчитывается на основе уравнения Пенмена-Монтейта [8]. Расчет эвапотранспирации для участков с различным видом подстилающей поверхности производится с учетом альбедо этих поверхностей, уравнение Пенмена-Монтейта учитывает осмотическое давление растений. Количество солнечной радиации корректируется в соответствии с экспозицией склона, крутизной склона и альбедо подстилающих поверхностей.

Важная связь между потерями воды на эвапотранспирацию и стоком рассчитывается на основе данных влажности почвы в зоне аэрации. Причем испарение с водных поверхностей, с поверхностей без растительности и урбанизированной территории принимается равной испарению с водной поверхности с учетом имеющейся влаги.



Основные элементы формирования стока, рассматриваемые моделью PREVAH (рисунок Д. Вивироли [5]).

Подмодель формирования стока основана на концепции модели HBV [3]. Концепция построена на том, что почвенная толща представляется в виде трех емкостей, расположенных одна над другой. Первая емкость служит аналогом верхнего водоносного слоя, в котором происходит быстрая трансформация талой и дождевой воды, здесь формируется быстрый поверхностный сток и внутриводосный сток (добегающий). Следующие две емкости описывают трансформацию грунтового и базисного стока. Кроме того, емкость с базисным стоком подразделяется на две компоненты – первичный и вторичный базисный сток. Истечение воды из каждой емкости зависит от индивидуальных коэффициентов, которые являются единичными для всего бассейна.

Подмодель концентрации речного стока рассчитывает расход воды в замыкающем створе путем суммирования объемов истечения всех резервуаров с учетом времени инерции.

Все рассмотренные в статье модели описывают формирование стока рек, но все они сильно отличаются друг от друга в применении подходов, концепций и методов. Мы остановили свой выбор на модели PREVAH, так как она в большей мере удовлетворяет основным критериям, которые мы использовали при выборе модели.

Основные преимущества модели PREVAH:

1) одна из целей применения – изучение влияния климата и факторов подстилающей поверхности на сток;

2) учитывает сложный комплекс физико-географических условий (растительность, почвенные характеристики, рельеф), влияющих на сток (пространственная детализация модели от 30 до 120 м);

3) включает специальную подмодель для подсчета ледникового стока;

4) временная детализация 1 сутки позволяет детально изучить факторы, влияющие на сток и их взаимовлияние;

5) учитывает все основные элементы водного баланса при подсчете стока;

6) достаточно универсальна, так как использует стандартные гидрометеорологические данные и различные методы при расчетах, что делает возможным при отсутствии какого-либо метеорологического параметра рассчитать его косвенными методами. Например, для подсчета суммарного испарения можно использовать 4 метода: Пенмена – Монтейта, Хамона, Вендлинга и Тюрка – Иванова.

Литература

1. *Денисов Ю.М., Агальцева Н.А., Пак А.В.* Автоматизированные методы прогноза стока горных рек Средней Азии. – Ташкент: САНИГМИ, 2000. – 160 с.
2. *Мартинек Дж., Ранго А., Робертц Р.* Модель талого стока // Руководство для пользователей. Географический факультет. Бернский Университет, 1998 г. – 96 с.
3. *Bergström S.* Development and Application of a Conceptual Runoff Model for Scandinavian Catchments. Bulletin Series A, No. 52. – University of Lund, 1976.
4. *Engel B.A.* Methodologies for development of hydrological response units based on terrain, land cover and soils data. In GIS and environmental modeling. – New York: Oxford University Press, 1996. – P. 123–128.
5. *Gurtz J., Zappa M., Jasper K., Lang H., Verbunt M., Badoux A. and Vitvar T.* Application training on hydrological models. – 2003. – 241 p.
6. *Thomas M.K.* Development of a streamflow model for rural catchments in Kenya. Laikipia Mt. Kenya Papers D11. – Nanyuki, Kenya, 1994. – 52 p.
7. *Menzel L.* Development of an evapotranspiration model from research studies in a smallprealpine catchment // Ecohydrological Processes in Small Basins (ERB): Sixth Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) – Paris: UNESCO, 1997. – P. 37–42.
8. *Penman H.L.* Estimating evaporation. – Trans. Amer. Geophys. Union, 1996. – P. 43–46.