

УДК 556.16.06 № 6.2007

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА МАЛЫХ РЕК БЕЛАРУСИ

канд. геол. наук, доц. А.А. ВОЛЧЕК

(Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, Брест),

С.И. ПАРФОМУК

(Брестский государственный технический университет)

На основе метода гидроклиматических расчетов разработана компьютерная программа, дающая возможность моделировать водный баланс малых рек Беларуси за месячные интервалы осреднения. Программа включает в себя обширную информацию об элементах водного баланса изученных рек и может учитывать основные особенности отдельных водосборов. Результаты моделирования свидетельствуют о высокой точности расчета водного баланса как для практического применения, так и для теоретических исследований. Программа «Баланс» при наличии данных об атмосферных осадках, о температуре воздуха, дефицитах влажности воздуха, стока воды реки-аналога и гидрографических характеристиках водосбора позволяет рассчитывать водный баланс слабо изученных малых рек Беларуси. Программа показала удовлетворительные результаты для всех исследуемых водосборов. В связи с уменьшающимся количеством станций наблюдений за стоком моделирование водного баланса рек, не охваченных систематическими наблюдениями, является весьма актуальным.

Введение. В настоящее время на территории Беларуси ведется наблюдение за стоком воды рек на 122 режимных гидрологических постах. В то же время во многих отраслях народного хозяйства (гидротехническом строительстве, экологии, гидрологии, земледелии, сельском хозяйстве, навигации, агротехнике и др.) остро ощущается необходимость в данных о стоке неисследованных рек. Для этих целей используются различные косвенные методы определения стока, в большинстве случаев не дающие удовлетворительных результатов. Поэтому необходима разработка более точных методов определения стока неизученных рек на основе систематизации имеющейся информации о данных гидрометрических наблюдений на территории Беларуси. Использование точных методов расчета представляет собой довольно трудоемкий процесс и предполагает оперирование достаточно большими объемами информации. Для решения этой задачи нами предпринята попытка компьютерной реализации метода определения речного стока, использующего элементы водного баланса.

Исходные данные и методы исследований. Исходными данными для исследований послужили ряды месячных и годовых значений основных элементов водного баланса и сопутствующих элементов.

Для расчета элементов водного баланса использован метод гидроклиматических расчетов (ГКР), разработанный В.С. Мезенцевым [1, 2].

Уравнение водного баланса речного водосбора за некоторый промежуток времени имеет вид [1, 2]:

$$H(I) = Z(I) + Y_K(I), \quad (1)$$

где $H(I)$ – суммарные ресурсы увлажнения, мм; $Z(I)$ – суммарное испарение, мм; $Y_K(I)$ – суммарный климатический сток, мм; I – интервал осреднения.

Суммарное испарение находится по формуле:

$$Z(I) = Z_m(I) \left[1 + \left(\frac{\frac{Z_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)}}{KX(I) + g(I)} + V(I) \right)^{n(I)} \right]^{-\frac{1}{n(I)}}, \quad (2)$$

где $Z_m(I)$ – максимально возможное суммарное испарение, мм; W_{HB} – наименьшая влагоемкость почвы, мм;

$V(I) = \frac{W(I)}{W_{HB}}$ – относительная влажность почвы на начало расчетного периода; $r(I)$ – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов;

$KX(I)$ – сумма измеренных атмосферных осадков, мм; $g(I)$ – грунтовая составляющая водного баланса, мм; $n(I)$ – параметр, учитывающий физико-географические условия стока.

Максимально возможное суммарное испарение находится по методике, описанной в работе [3]. Суммарные ресурсы увлажнения определяются следующим образом:

$$H(I) = KX(I) + W_{HB}(V(I) - V(I+1)), \quad (3)$$

где $V(I+1)$ – относительная влажность почвы на конец расчетного периода, определяемая из соотношений:

$$V_{cp}(I) = \left(\frac{\frac{KX(I) + g(I)}{W_{HB}} + V(I)}{\frac{Z_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)}} \right)^{\frac{1}{r(I)}}; \quad (4)$$

$$V(I+1) = V(I) \cdot \left(\frac{V_{cp}(I)}{V(I)} \right)^{r(I)}. \quad (5)$$

Метод ГКР сводится к решению системы уравнений (1) – (5) до тех пор, пока значение относительной влажности почвогрунтов на начало первого периода не будет равно значению относительной влажности почвы на конец последнего периода. При расчете начальное значение влажности почвы берется равным значению наименьшей влагоемкости почвы, т.е. $W(I) = W_{HB}$, откуда $V(I) = 1$. Сходимость решения метода ГКР достигается уже на четвертом шаге расчета.

Одной из основных проблем моделирования водного баланса малых рек с использованием массовых климатических данных является переход от рассчитанного климатического стока к русловому.

Корректировка климатического стока осуществляется с помощью коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов на формирование руслового стока, т.е.

$$Y_p(I) = k(I) \cdot Y_k(I), \quad (6)$$

где $Y_p(I)$ – суммарный русловый сток, мм; $k(I)$ – коэффициент, учитывающий гидрографические характеристики водосбора.

Результаты и их обсуждение. Метод ГКР был реализован в виде компьютерной программы «Баланс», выполняющей расчет водного баланса по изложенной выше методике.

Моделирование водного баланса исследуемой реки осуществляется в два этапа:

- 1) настройка модели;
- 2) собственно моделирование.

На *первом этапе* необходимо задать координаты центра тяжести водосбора исследуемой реки, что можно сделать путем визуальной отметки на карте или ввода цифровых значений. Кроме того, необходимо задать основные гидрографические характеристики водосбора.

После определения координат программа из встроенного банка гидрометеорологической информации подбирает реку-аналог с учетом сходства формирования водного режима рек. Исходная гидрометеорологическая информация трансформирована в непрерывные метеорологические поля, охватывающие всю территорию Беларуси, что позволяет учитывать площадь и конфигурацию водосбора.

Программа «Баланс» позволяет производить над входными данными все необходимые операции: добавление, редактирование, удаление, сортировку по указанному полю или нескольким полям, выборку по критерию и т.д. Доступ к программе осуществляется на основе прав пользователей. Для пользователей предусмотрено формирование собственных таблиц с данными. В программе также присутствует возможность получения пространственно-временных характеристик всех составляющих водного баланса выбранного водосбора при задании его географических координат.

Программа «Баланс» реализована полностью в соответствии с требованиями, которые предъявляются к современным базам данных:

- она обеспечивает сохранность данных и возможность восстановления данных при сбоях за счет резервного копирования;
- предусмотрена защита информации от несанкционированного доступа с целью сознательного или несознательного искажения информации;
- для защиты информации от несанкционированного доступа используются программно-аппаратные средства, обеспечивающие ограничение доступа к информационным ресурсам.

После получения необходимой информации, изменяя параметры $W_{НВ}$, r и n и используя систему уравнений (1) – (5), определяются элементы водного баланса. Наименьшая влагемкость почвы $W_{НВ}$ изменяется в пределах от 60 до 220 мм. Параметр r изменяется в пределах от 1 до 2,5, параметр n – от 2 до 3,4. При настройке модели преследуется цель – достичь наибольшего соответствия рассчитанного климатического стока и руслового стока реки-аналога. Первый этап заканчивается построением графиков климатического и руслового стока (рис. 1) и выводом ошибки моделирования (таблица, примеры фрагментов промежуточных выходных документов).

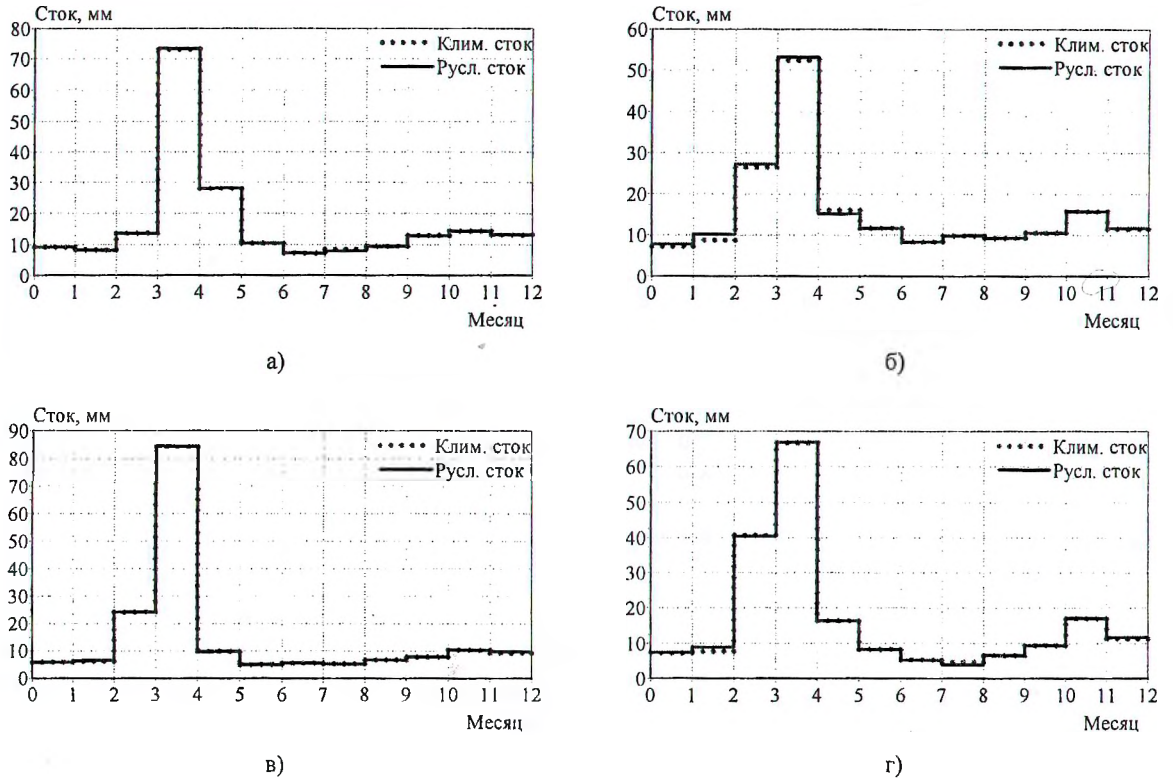


Рис. 1. Климатический и русловой сток:
а – р. Лужесянка – с. Борково; б – р. Дитва – с. Поречаны;
в – р. Жадунька – г. Костюковичи; г – р. Случь – с. Новодворцы

Ошибка определения климатического стока

Водосбор	Ошибка моделирования, %											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
р. Лужесянка – с. Борково	-2,38	-1,22	-0,74	-0,41	0	0	0	5,53	0	0,78	0	0
р. Дитва – с. Поречаны	-6,55	-13,1	-2,94	-1,5	6,58	0	0,48	-0,1	0,1	0	0,64	-1,71
р. Жадунька – г. Костюковичи	-1,72	-1,89	0	-0,24	0,52	0,39	0	-0,39	0	0,89	0	-4,44
р. Случь – с. Новодворцы	-1,77	-14,4	0,99	-0,15	0	-0,12	-0,58	19,3	-0,16	0	0	-3,42

Второй этап представляет собой непосредственный расчет водного баланса неизученной реки, используя параметры, найденные при моделировании стока реки-аналога.

Расчет элементов водного баланса исследуемой реки производится с учетом конкретных особенностей исследуемого водосбора. Примеры фрагментов промежуточных выходных документов представлены на рисунке 2.

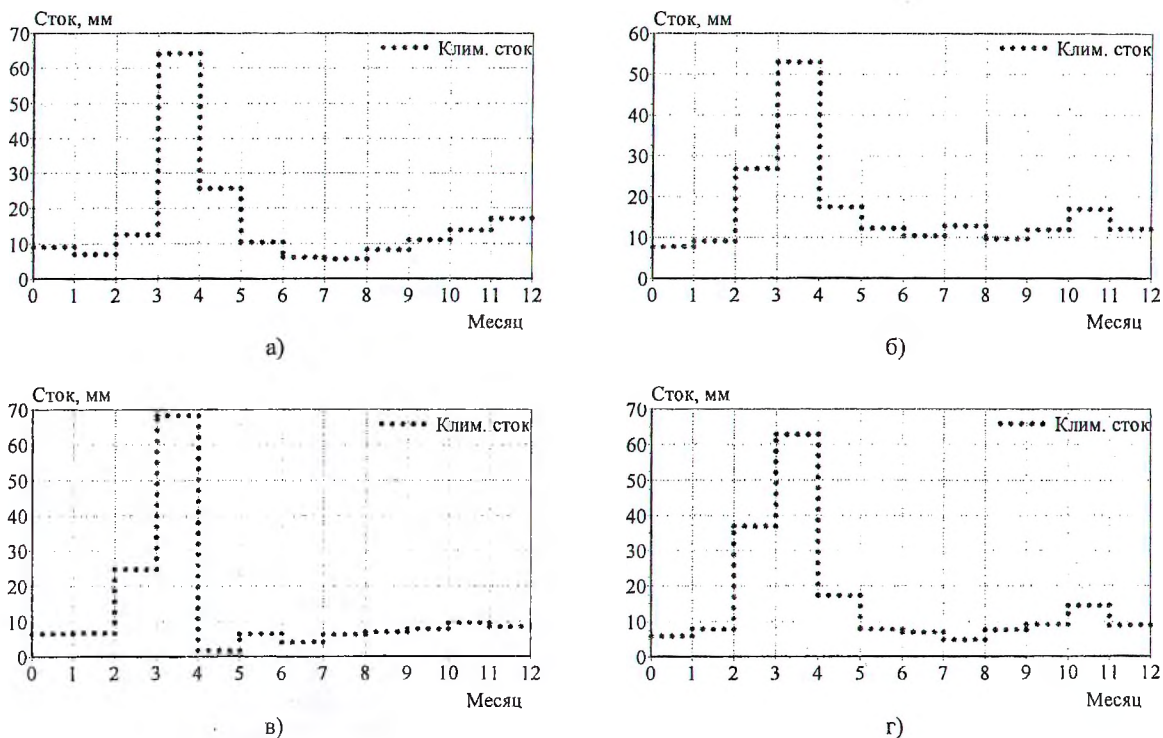


Рис. 2. Климатический сток:
 а – р. Полота – Янково 1-е; б – р. Жижма – с. Гельвинцы;
 в – р. Ола – с. Михалево; г – р. Птичь – с. Русаковичи

Результаты моделирования свидетельствуют о высокой точности расчета водного баланса как для практического применения, так и для теоретических исследований, что проверено на 69 реках Беларуси с площадью водосбора не более 1000 км², на которых ведутся гидрометрические наблюдения.

Таким образом, программа «Баланс» при наличии данных об атмосферных осадках, о температуре воздуха, дефицитах влажности воздуха, стока воды реки-аналога и гидрографических характеристиках водосбора позволяет рассчитывать водный баланс слабо изученных малых рек Беларуси.

Выводы. Разработанная компьютерная программа расчета водного баланса на основе метода ГКР позволяет рассчитывать сток воды рек как изученных, так и неизученных водосборов. Программа показала удовлетворительные результаты для всех исследуемых водосборов. В связи с уменьшающимся количеством станций наблюдений за стоком моделирование водного баланса рек, не охваченных систематическими наблюдениями, является весьма актуальным.

Прогнозирование водного баланса рек Беларуси в условиях изменяющегося климата [4, 5] и степени антропогенной нагрузки на водные объекты – предстоящий этап исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мезенцев, В.С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 168 с.
2. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Ч. I / В.С. Мезенцев [и др.]. – Омск, 1980. – 80 с.
3. Волчек, А.А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) / А.А. Волчек // Науч.-техн. инф. по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР). – 1986. – № 12. – С. 17 – 21.
4. Климат Беларуси / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Ин-т геолог. наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.
5. Изменение климата Беларуси и их последствия / В.Ф. Логинов [и др.]; под общ. ред. В.Ф. Логинова; Ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Минск: ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.

Поступила 23.10.2006