

увеличением этой доли в диапазоне  $P = 21...80\%$ , доля стока в летне-осеннюю межень практически не изменяется независимо от водности года, а доля стока в зимнюю межень в особо многоводные ( $P = 0...20\%$ ) и особо маловодные ( $P = 81...100\%$ ) годы возрастает с некоторым уменьшением этой доли в диапазоне  $P = 21...80\%$  (см. табл. 6).

#### Выводы

Исследование показало, что распределение стока в Волжско-Камском речном бассейне, как в пространстве (с укрупненных частных водосборов), так и во времени (фазам водности), независимо от зоны водности на кривой обеспеченности приблизительно одинаково: на Верхней Волге – 40...50%, несколько меньше на Каме – 30...45% и незначительно на Средней Волге – 15...25%.

При моделировании гидрологических рядов стока в Волжско-Камском речном бассейне методом фрагментов правомерно использовать весь диапазон значений кривой обеспеченности (0...100%), не деля его по зонам водности.

1. Андреев В. Г. Внутригодовое распределение стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 327 с.

2. Картвелишвили Н. А. Стохастическая гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 164 с.

3. Александровский А. Ю., Резниковский А. Ж. О статистическом моделировании речного стока (с учетом внутригодового распределения) // Водные ресурсы. – 1972. – № 3. – С. 51–59.

4. Гриневич М. А. Композиционное моделирование гидрографа. – М.: Гидрометеиздат, 1972. – 181 с.

5. Резниковский А. М. Водноэнергетические расчеты методом Монте-Карло. – М.: Энергия, 1972. – 304 с.

6. Рождественский А. В., Чеботарев А. М. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.

7. Сванидзе Г. Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 296 с.

8. Шенгелия Г. П. К вопросу о моделировании паводочных гидрографов методом фрагментов: Сообщения АН ГрузССР. – Тбилиси: АН ГрузССР, 1972. – Т. 68. – С. 365–368.

Материал поступил в редакцию 15.04.11.  
**Гуськов Виталий Геннадьевич**, старший преподаватель кафедры «Гидрология, метеорология и регулирование стока»  
 Тел. 8 (495) 976-17-45, 8 (499) 747-57-04  
 E-mail: vitold.gus@mail.ru

УДК 502/504:556.1:519.233.5

### З. К. ИОФИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный технический университет»

## ВТОРОЙ ВАРИАНТ ЛИНЕЙНО-КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ\*

*В работе приводятся математические выражения для параметров линейно-корреляционной модели при положительном значении свободного члена  $b$  уравнения прямой линии связи. Уравнение прямой связывает слой годовой суммы атмосферных осадков и годовой слой стока.*

*Линейно-корреляционная модель водного баланса, впитывание, потери на спаде стока, суммарное испарение, инфильтрация.*

*There are given mathematical expressions for parameters of the linearly-correlation model under the positive value of a free term  $b$  of the connection straight line equation. The straight line equation connects a layer of the annual amount of atmospheric precipitation and an annual layer of the flow.*

*Linearly-correlation model of water balance, absorption, losses at flow fall, evapotranspiration, infiltration.*

\* Работа выполнена за счет средств Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг., в рамках реализации мероприятий № 1.2.2 Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук».

Уравнение водного баланса для многолетнего периода включает следующие значения: слой атмосферных осадков, слой стока и слой суммарного испарения. Как правило, заданными бывают либо слои атмосферных осадков и стока, либо слои атмосферных осадков и испарения. По двум данным определяется третье отсутствующее значение члена уравнения водного баланса. Представляется, что без слоя инфильтрации результаты вычисления по этому уравнению искажаются.

В линейно-корреляционной модели водного баланса участвуют следующие элементы уравнения водного баланса: слой атмосферных осадков, слой испарения, слой инфильтрации, слой стока и некоторые другие. Линейно-корреляционная модель продемонстрировала возможность двух вариантов корреляционных зависимостей слоя годового стока от суммарного годового слоя атмосферных осадков. К первому варианту относятся случаи с отрицательным свободным членом уравнения прямой  $b$ . Ко второму – с положительным значением  $b$ .

В работе [1] показан состав уравнения водного баланса и путь определения параметров линейно-корреляционной модели в виде уравнения прямой для одного из видов корреляционной зависимости годового стока от атмосферных осадков – для отрицательного  $b$ . Рассмотрим другой вид уравнения линейно-корреляционной зависимости – с положительным  $b$ . В качестве объекта исследования, как и в варианте, рассмотренном в [1], выступает корреляционное уравнение связи слоя стока со слоем атмосферных осадков в виде уравнения прямой линии. Оказывается, что независимо от состава исходных данных определение остальных параметров, не заданных по линейно-корреляционной модели, во многом зависит от вида уравнения прямой: с положительным или отрицательным свободным членом уравнения прямой  $b$ .

Приведем окончательные результаты определения испарения, потерь стока на спаде паводков, инфильтрации, впитывания.

Испарение:

$$E = |b| + |b| \frac{1-k}{k},$$

где  $E$  – суммарное испарение, мм;  $b$  – величина первоначального впитывания до начала водообразования, мм;  $k$  – коэффициент регрессии.

Потери стока на спаде половодий и паводков определяются по следующему выражению:

$$|b| \frac{1-k}{k}.$$

Величина инфильтрации определяется так:

$$U = Y \frac{1-k}{k},$$

где  $U$  – инфильтрация, мм;  $Y$  – сток, мм;  $k$  – коэффициент регрессии.

Появление в корреляционном уравнении прямой линии, связывающей слой годового стока и слой годовой суммы атмосферных осадков с положительным значением  $b$ , меняет физический смысл трактовки параметров этой связи, так как наблюдается совершенно другой генетический тип стока. Речь идет о подпертом внутрпочвенном стоке, согласно генетической теории, предложенной профессором А. Н. Бефани [2]. Подпертый поверхностный сток при положительном  $b$ , в отличие от подвешенного поверхностного стока при отрицательном  $b$  уравнения прямой линии, возникает в периоды значительного склонового увлажнения и поднятия грунтовых вод к поверхности. Образуется подпертый поверхностный сток, сопровождающийся подпертым внутрпочвенным стоком. Представляется, что аккумуляция стока, вызванная указанным процессом, создает в корреляционной зависимости прямой линии положительное значение свободного члена.

Рассмотрим уравнение прямой линии с интерпретацией водно-балансовых элементов линейно-корреляционной модели при положительном  $b$  (рисунок). Согласно принятой структуре уравнения водного баланса,

$$P = Y + E + U, \tag{1}$$

где  $P$  – атмосферные осадки, мм;  $Y$  – сток, мм;  $E$  – суммарное испарение, мм;  $U$  – инфильтрация, мм.

По исходным данным, например слою атмосферных осадков  $P$  и слою стока  $Y$ , требуется представить зависимости для суммарного испарения  $E$  и инфильтрации  $U$ . Значения потерь стока на спаде половодий и паводков  $R_{\tau}$ , на поверхностное задержание стока на водосборе  $R_0$ , на испарение с водной поверхности  $E_a$ , на впитывание  $R_{\tau}$  в почву и грунт, значения внутрпочвенного подпертого стока  $Y_{\tau}$  – все эти параметры являются

производными от основных  $P, Y, E, U$ . Их математическое выражение рассматривается отдельно.

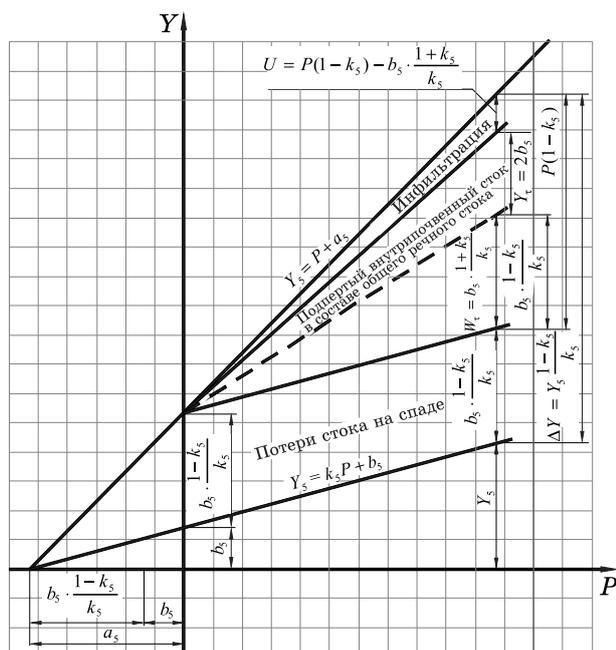


Схема определения водно-балансовых параметров при положительном  $b$

По разности двух уравнений системы легко показать, что

$$P + a_s = c;$$

$$k_s P + b_s = d.$$

Суммарное испарение:

$$a_s = \frac{Y_s}{k_s} - P.$$

Объем аккумуляции  $b_s$  формируется до начала стока. С накоплением величины  $b_s$  в почве создается процесс накопления влаги в почвогрунтах и водообразования с началом стока. Накопление  $b_s$  способствует началу водообразования. Объем слоя впитывания на испарение не ограничивается величиной  $b_s$ . В процессе спада стока, согласно генетической теории [1], происходит заполнение впадин микрорельефа, аккумуляция стока на склонах водосбора, отражаемых параметром  $b_s \left( \frac{1-k_s}{k_s} \right)$ . Иными словами, сумма  $b_s$  и  $b_s \left( \frac{1-k_s}{k_s} \right)$  отражает величину слоя суммарного испарения влаги, задержанной на поверхности склонов водосбора: в почве и на поверхности в микропонижениях. Различие этих двух параметров состоит в том, что  $b_s$  отражает потери стока на испарение до начала водообразования на поверхности склонов, а  $b_s \left( \frac{1-k_s}{k_s} \right)$  – потери влаги на испарение, сформированной в процессе спада стока в периоды половодий и паводков. Отсю-

да для величины суммарного испарения можно также записать:

$$a_s = b_s + b_s \frac{1-k_s}{k_s},$$

где  $a_s$  – величина потерь атмосферных осадков и стока на испарение.

Итак, суммарное испарение:

$$a_s = E = \frac{Y_s}{k_s} - P; \tag{2}$$

$$b_s + b_s \frac{1-k_s}{k_s} = a_s = E.$$

Если исходить из структуры уравнения водного баланса (1) и выражения для испарения (2), то можно записать следующее уравнение:

$$P - Y_s - \left( b_s + b_s \frac{1-k_s}{k_s} \right) = U.$$

Тогда инфильтрация:

$$P(1-k_s) - b_s \frac{1+k_s}{k_s} = U.$$

### Выводы

Представлением положительного значения свободного члена  $b$  уравнения прямой линии связи совместно с вариантом отрицательного значения  $b$  исчерпываются возможные варианты линейно-корреляционной модели водного баланса.

Положительное значение  $b$  сформировано природными процессами, происходящими на водосборе. В первую очередь это относится к высокому стоянию уровней грунтовых вод, быстрому наполнению объема пор почвогрунтов, иногда – выходу грунтовых вод на дневную поверхность.

Положительное значение  $b$  отвечает подпертому внутрипочвенному стоку по классификации генетической теории стока [2].

1. **Иофин З. К.** Новый подход к определению составляющих водного баланса: Труды VI Всесоюзного гидрологического съезда. – Л.: Гидрометеиздат, 2008. – Ч. 1. – С. 62–67.

2. **Бефани А. Н.** Вопросы региональной гидрологии. Паводочный сток. – Киев: УМК ВО, 1989. – 132 с.

Материал поступил в редакцию 15.02.11.

**Иофин Зиновий Константинович**, кандидат географических наук, доцент кафедры «Комплексное использование и охрана природных ресурсов»  
E-mail: pirit35@yandex.ru