

ся на имитационной модели водохозяйственной системы бассейна и обеспечивает детальный анализ водохозяйственных балансов основных водотоков водосбора. Апробированные способы расчета водохозяйственных балансов могут быть рекомендованы в последующем проектировании.

УДК 556.18

В.В.Дрозд, канд. геогр. наук (ЦНИИКИВР)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГОДОВОГО СТОКА ПО ОГРАНИЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Данные о годовом стоке рек как показателе водных ресурсов широко используются в водохозяйственном проектировании. Для объективной оценки расчетных значений стока требуется информация за продолжительный период. Создание водохозяйственных систем преобразует условия формирования стока. Наиболее надежное гидрологическое обоснование водохозяйственных проектов возможно на основе анализа длительных и непрерывных рядов стока.

Задачей настоящей работы является рассмотрение возможных методов восстановления годового стока при пропусках наблюдений и нарушении его режима водохозяйственной деятельностью. Основное внимание здесь уделяется методам восстановления стока в условиях ограниченной информации, и в первую очередь отсутствия наблюдений на большинстве гидрологических постов в периоды важнейших исторических событий и массового нарушения режима стока в процессе интенсивной хозяйственной деятельности. Это означает, что в подобных ситуациях мы располагаем ограниченными данными и не всегда имеем возможность использовать, например, аппарат множественной корреляции.

Непременным условием объективного восстановления стока является анализ надежности данных наблюдений, включая проверку их на однородность [1], что позволяет правильно выбрать период для установления связей и их тесноты при естественном режиме.

Восстановление данных о стоке при пропусках наблюдений и нарушении его режима производится на основе регрессионного анализа с использованием метода аналогии или информации о стокообразующих факторах. При использовании метода аналогии важным является не только подбор рек-аналогов, но и выбор

характеристик водного режима. Обычно применяются связи стока (Q) двух объектов вида $Q=f(Q_a)$. Опыт наших исследований показал, что положительные результаты дают и связи расхода с уровнем воды $Q=f(H_a)$, т.е. использование для этих целей в качестве аргумента уровней воды рек-аналогов (H_a), когда отсутствуют данные о стоке [2].

В случаях, когда не удается подобрать один надежный объект-аналог, можно использовать ряд аналогов:

$$Q = f(Q_{a1}, Q_{a2}, \dots, Q_{an}). \quad (1)$$

Но тогда необходимо применение аппарата многофакторных связей, что в условиях ограниченной информации обычно малоэффективно.

Поэтому имеется возможность использовать информацию по стоку ряда аналогов в виде условного водосбора. Он формируется путем суммирования или осреднения данных о стоке или же по разности величин стока двух водосборов.

Тогда эту зависимость стока расчетного водосбора от стока условного водосбора-аналога (Q'_a) запишем в виде

$$Q = f(Q'_{a1}, Q'_{a2}, \dots, Q'_{an}). \quad (2)$$

Если сток условного водосбора формируется из стока двух объектов (Q_{a1} и Q_{a2}), то в зависимости от результатов подбора аналога аргументы этой функции получим следующим образом:

$$Q'_{a1} = Q_{a1} + Q_{a2}$$

или

$$Q'_{a3} = Q_{a1} - Q_{a2}$$

и т.д.

Условный водосбор можно сформировать и по стоку более двух водосборов. Этот прием показал удовлетворительные результаты при восстановлении стока.

В качестве примера приведем сведения о тесноте связей годового стока с использованием данных условного водосбора (табл. 1).

Как видно, коэффициенты корреляции связи стока исследуемого и условного водосборов превышают коэффициенты корреляции в случае привлечения лишь одного аналога.

Таблица 1. Надежность восстановления годового стока по аналогам

Исследуемый водосбор	Коэффициенты корреляции и объекты-аналоги		
	1	2	условный водосбор и его состав
Днепр - Речица	0,93	0,87	0,95
	Сож - Гомель	Березина - Бобруйск	Сож - Гомель и Березина - Бобруйск
Березина - Бобруйск	0,87	0,83	0,92
	Днепр - Речица	Птичь - Лучицы	Днепр (Речица - Орша)
Свислочь - Тербуты	0,94	0,90	0,97
	Птичь - Комарино	Бобр - Клыпенка	Птичь - Комарино и Бобр - Клыпенка
Птичь - Лучицы	0,93	0,90	0,98
	Припять - Мозырь	Березина - Бобруйск	Припять - Мозырь и Березина - Бобруйск

Условный водосбор для Днепра у Речицы получен суммированием стока Сожа и Березины. Далее, для Березины он сформирован по разнице стока Днепра у Речицы и Орши, так как с этой частью водосбора наблюдается наилучшая аналогия. Для Свислочи у Тербутов условный водосбор получен суммированием и осреднением стока Немана и Бобра. Сток Птичи у Лучиц восстановлен по условному водосбору путем осреднения стока Припяти и Березины.

В тех случаях, когда невозможно использовать информацию по другим рекам или отсутствуют объекты-аналоги, целесообразно привлечь данные по основным стокообразующим факторам. Ведущим фактором являются осадки с учетом режима увлажнения и испарения, а также условий формирования составляющих речного стока. Влага, поступающая на водосбор, идет на испарение и сток. Но на последний она расходуется по двум направлениям: на сток поверхностных и на сток подземных вод. Различные во времени условия формирования этих составляющих и режим увлажнения усложняют характер преобразования осадков в сток. Кроме того, на данный процесс накладываются строение и размер водосбора. Все это затрудняет поиск устойчивых и надежных связей стока с осадками.

Для получения этих связей при наличии коротких рядов наблюдений (10 - 20 лет) применима преимущественно парная корреляция. Многофакторные же устойчивые связи эффективны при условии превышения объема выборки над числом независимых переменных не менее чем в десять раз [3, 4].

Наиболее значимые связи годового стока с осадками имеются в пределах гидрологического года или со сдвигом стока относительно осадков. Представляет интерес выделение гидрологического года при условии наиболее тесной связи стока и осадков, когда на водосборе наблюдается высокое влагонасыщение (оно почти не меняется от года к году) [5, 6].

Надежность связей стока с осадками в значительной степени нарушается неоднородностью рядов осадков, которые приводятся к однородным условиям: показаниям осадкомера без поправок на их недоучет за счет смачивания. Изменение методики наблюдений в разные периоды требует тщательного анализа рядов осадков и проверки их на однородность.

Были исследованы связи стока с осадками ($Q = f(P)$) с различной разрезкой года по ряду водосборов Белоруссии и соседних территорий. Оказалось, что наиболее высокие коэффициенты корреляции наблюдаются при связи стока с осадками за гидрологический год с 1 мая или 1 июня. Неодинаковое начало гидрологического года связано с природными особенностями водосборов. По исследуемым водосборам эти связи имеют коэффициенты корреляции порядка $0,8 \div 0,9$ и более.

В табл. 2 показана различная теснота связей в зависимости от начала гидрологического года.

Зависимости стока от осадков с коэффициентом корреляции ($r = 0,8$) считаются недостаточными для восстановления стока. Поэтому предпринята попытка использования еще ряда других факторов, способных влиять на формирование стока. Прежде всего это испарение с водосбора. Однако при определении годовых значений испарения с водосбора имеют место значительные погрешности, такая попытка не дала положительных результатов.

Показателями испарения могут служить дефицит влажности и температура воздуха. Анализ графических связей показал, что важным фактором формирования стока, кроме осадков, является также дефицит влажности воздуха. При этом наиболее эффективным оказался показатель увлажнения, равный отношению осадков к дефициту влажности воздуха (P/d). Связи годового стока с показателем увлажнения, как правило, оказываются несколько теснее, чем с осадками.

Таблица 2. Связи стока с осадками по гидрологическим годам

Исследуемый водосбор	Коэффициенты корреляции по гидрологическим годам			
	I - XII	X - IX	У - IУ	УI - У
Ясельда - Береза	0,21	0,36	0,91	0,85
Птичь - Комарино	0,13	0,37	0,88	0,93
Птичь - Лучицы	0,17	0,62	0,78	0,92
Оресса - Верхутино	0,18	0,65	0,84	0,92
Словечна - Кузьмичи	0,44	0,38	0,90	0,87
Чертенъ - Некрашевка	0,17	0,54	0,87	0,91

Так как связи стока с осадками и другими стокообразующими факторами нелинейны, они приводятся к линейным путем логарифмического преобразования. При этом теснота связи (коэффициент корреляции) улучшается, повышается достоверность уравнений регрессии для восстановления стока.

Следовательно, объективные связи (коэффициент корреляции $r \geq 0,9$) годового стока с основными факторами могут быть получены при выборе гидрологического года, когда осадки наилучшим образом соответствуют стоку. Дальнейшее повышение надежности корреляционных связей возможно путем привлечения показателя увлажнения в виде отношения осадков к дефициту влажности за гидрологический год. Эффективность связей годового стока с осадками будет зависеть и от условий их выпадения в течение года. Поэтому в дальнейшем предполагается изучение влияния внутригодовой неравномерности выпадения осадков на формирование стока.

После восстановления значений стока при его изменении целесообразно проверить графическими приемами новый ряд, составленный из его естественной и восстановленной частей, на однородность [1].

Надежность восстановления стока в условиях коротких рядов наблюдений с использованием уравнения регрессии оценивается обычными методами [3]. Для оценки точности уравнения линейной регрессии применяется условная стандартная ошибка (σ_Q):

$$\sigma_Q = \sigma \sqrt{1 - r^2}, \quad (4)$$

где r – коэффициент корреляции; σ – среднее квадратическое отклонение функции, определяемое по выражению

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n}}, \quad (5)$$

где Q_i – наблюдаемые значения функции, а \bar{Q} – средняя ее величина за рассматриваемый период n .

Кроме того, оцениваются ошибки параметров уравнения прямой, которые определяют положение линии регрессии. Эти ошибки зависят не только от объема используемой информации, но и от ее состава, т.е. насколько она отражает диапазон колебаний функции.

Таким образом, и при наличии ограниченной информации возможно достоверное восстановление годового стока. Для этого эффективны приемы как с использованием данных по объектам – аналогам, включая “условный водосбор”, так и с применением связей стока с осадками за гидрологический год. Гидрологический год определяется подбором по принципу наиболее тесной связи стока с осадками.

Л и т е р а т у р а

1. Анализ однородности гидрологических рядов: Методические рекомендации. – Минск, 1977.
2. Дрозд В.В. Анализ тенденций изменения характеристик стока в результате хозяйственных мероприятий. – Тез. докл. Всесоюз. НТС “Комплексное использование водных ресурсов по секции оценки влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы.” – Минск, 1975.
3. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л., 1974.
4. Шикломанов И.А. О методах оценки влияния комплекса хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим водосборов. – Тр. ГТИ, вып. 206. – Л., 1973.
5. Булавко А.Г. Водный баланс речных водосборов. – Л., 1971.
6. Руководство по гидрологической практике. – Л., 1975.