

16. Булаво А.Г. Гидрологические функции торфяных месторождений. — В сб.: Гидрологическая роль торфяных месторождений и их использование в сельском хозяйстве. Минск, 1981, с. 38–41. 9. Иванов К.Е., Новиков С.М. Гидрологическая роль торфяников. — В сб.: Гидрологическая роль торфяных месторождений и их использование в сельском хозяйстве. Минск, 1981, с. 20–23. 10. Лебедев В.В. Гидрология и гидрометрия в задачах. — Л., 1955, с. 321–350.

УДК 556.167

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

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МИНИМАЛЬНОГО СТОКА НА ОСНОВАНИИ СЕЗОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Расчеты характеристик меженного стока при отсутствии наблюдений по рекам, имеющим зональные закономерности формирования стока, ведутся по принятым в практике методам [1–3]. К таким объектам обычно относятся средние и большие реки.

Сток малых рек, и особенно межени, чаще всего не подчиняется общим закономерностям и поэтому производятся замеры расходов воды [4, 5].

Для надежного гидрологического обоснования водохозяйственных проектов в условиях неустойчивой летней межени организуют сезонные наблюдения за водным режимом в проектных створах. В целях мелиоративного проектирования на малых реках БССР часто изучается водный режим в летний период.

В данной работе предлагается методика обработки сезонных наблюдений за стоком и даются рекомендации по максимальному использованию информации, получаемой в результате таких кратковременных наблюдений.

В этом направлении уже имеются некоторые предложения. Так, рекомендуется, например, использовать не только одно значение минимума за сезон, но и минимальные расходы воды каждого месяца летнего сезона [2, 6]. Однако и такой подход не всегда обеспечивает в условиях неустойчивой межени необходимый для анализа объем выборки (7–8 ед.)

Наши данные свидетельствуют о возможности получения ряда минимумов из стока не только за месячный период, но и за декадные отрезки времени. В таких случаях создаются условия образования (даже при наличии наблюдений лишь за теплый, летний период одного или нескольких лет) выборки, достаточной для дальнейшего гидрологического анализа и расчета стока заданной обеспеченности. С физической стороны это не противоречит природе формирования стока, так как минимумы одного порядка на малых реках, связанные с характером истощения, могут наблюдаться как в месячные, так и в декадные отрезки времени.

Технология формирования выборки минимумов на основе использования стока за декаду заключается в следующем. Прежде всего оценивается репрезентативность выборки по аналогии, для чего осуществляется обработка необходимой информации по ряду соседних рек. Устанавливается, относятся ли они к естественному или к нарушенному режиму. Анализ начинает производиться с построения гидрографов рассматриваемых водотоков, дополнитель-

но к которым строят ежедневные графики осадков. Совместный анализ колебаний стока и осадков позволяет выделить периоды (декады) с аналогичным режимом истощения стока (рис. 1), которые используют для составления выборки суточных минимумов исследуемых рек. Минимумы, соответствующие синхронным фазам истощения, являются представительными и отбираются для составления выборки. На основе полученной выборки осуществляется оценка параметров распределения.

Норма минимального стока может быть определена с помощью временных или пространственных связей, в зависимости от характера информации.

При наличии данных по объекту-аналогу ( $Q_{\text{мда}}$ ) строится связь минимальных суточных расходов воды ( $Q_{\text{мд}}$ ), полученных из стока за декады летнего периода двух рек, —  $Q_{\text{мд}} = f(Q_{\text{мда}})$ . Полагая, что такие расходы соответствуют минимумам, выбранным из месячных величин, установим норму стока, которая для расчетного створа будет получена из уравнения  $\bar{Q}_{\text{мд}} = a\bar{Q}_{\text{мда}} + b$ , где  $\bar{Q}_{\text{мда}}$  — норма минимального суточного стока объекта-аналога;  $a$ ,  $b$  — параметры, определяемые по данным установленной выше связи.

Другой путь расчета нормы минимального стока  $\bar{Q}_{\text{мд}}$  — по связи ее с суточными минимальными расходами воды  $Q_{\text{мд}}^i$ , выбранными из стока за дека-

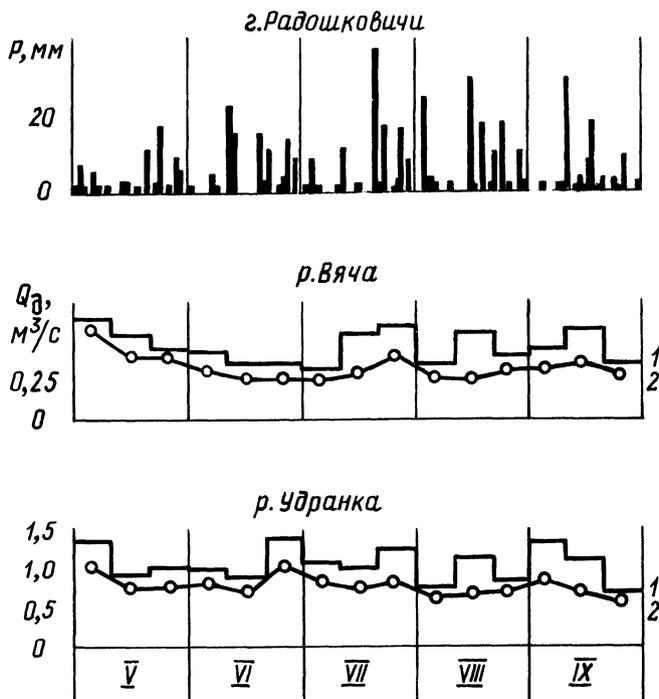


Рис. 1. Колебания осадков и стока за май—сентябрь 1960 г.: среднедекадные расходы воды (1) и их минимумы в эти периоды (2).

ды по ряду объектов в одном гидрологическом районе или по группе рек:  $\bar{Q}_{\text{мд}} = f(Q'_{\text{мд}})$ . Норма минимального суточного стока рассчитывается по уравнению  $\bar{Q}_{\text{мд}} = aQ'_{\text{мд}} + b$ .

Наконец, при недостатке данных для построения графических связей в условиях неустойчивого водного режима межени  $\bar{Q}_{\text{мд}}$  расчетного створа может оцениваться по результатам кратковременных наблюдений с помощью коэффициента водности ( $K_{\text{в}}$ ) объекта-аналога,

$$\text{т.е. } \bar{Q}_{\text{мд}} = K_{\text{в}} Q_{\text{ми}}; K_{\text{в}} = \bar{Q}_{\text{мда}} / Q_{\text{маи}},$$

где  $Q_{\text{ми}}$  — минимальный сток за период наблюдений по расчетному створу и  $Q_{\text{маи}}$  — по аналогу.

При анализе связей минимального стока эффективно использовать также методы аналогии в виде условного водосбора [7]. Надежность оценки нормы минимального стока по рассмотренным связям зависит от объема выборки и тесноты связи, нормативы которых приняты в практике расчетов [2].

Изменчивость минимумов оценивается в следующем порядке. При достаточном объеме минимумов [3] по сезонным летним наблюдениям вычисляются коэффициенты вариации суточных минимумов из декадного стока ( $C_{\text{вд}}$ ) и традиционных многолетних суточных минимумов ( $C_{\text{в}}$ ) по группе объектов в однородном регионе. Если имеется удовлетворительная районная связь  $C_{\text{в}} = f(C_{\text{вд}})$ , то по ней определяется значение коэффициента вариации по расчетному створу.

Оценка изменчивости возможна также на основе использования минимумов из декад за летний сезон по расчетному объекту и аналогу.

При обработке малых выборок целесообразно применение упрощенных методов, известных из математической статистики. По-видимому, для наших целей наиболее эффективно выражение показателя изменчивости  $V_{\text{R}} = (Q_{\text{мд}}^{\text{нб}} - Q_{\text{мд}}^{\text{нм}}) / \bar{Q} = \Delta Q / \bar{Q}$ , где  $Q_{\text{мд}}^{\text{нб}}$  и  $Q_{\text{мд}}^{\text{нм}}$  — соответственно, наибольшее и наименьшее значения суточных минимумов из декад и  $\Delta Q$  — их разница;  $\bar{Q}$  — среднее значение величин рассматриваемого ряда.

Коэффициент вариации  $C_{\text{в}}$  в этом случае рассчитывается с помощью поправочного коэффициента ( $K_{\text{C}_{\text{в}}}$ ):

$$C_{\text{в}} = K_{\text{C}_{\text{в}}} \cdot V_{\text{R}}; \quad (1)$$

$$K_{\text{C}_{\text{в}}} = \bar{V}_{\text{Ra}} / V_{\text{Rai}},$$

где  $\bar{V}_{\text{Ra}}$  и  $V_{\text{Rai}}$  — показатели изменчивости по объекту-аналогу, соответственно, за многолетний период и за сезон данного года.  $V_{\text{R}}$  с учетом  $K_{\text{C}_{\text{в}}}$  в этом случае приравнивается к  $C_{\text{в}}$ .

Отсутствие надежной связи показателей изменчивости свидетельствует о сложных условиях подземного питания. В результате требуется подбор аналога, имеющего за одновременный период (по суточным минимумам из декад) изменчивость, близкую к исследуемому объекту. В данном случае коэффициент вариации последнего принимается по объекту-аналогу. Если нет и такой возможности, то используется принятый в практике подход оценки изменчивости  $C_{\text{в}}$  с учетом величины стока по выражению [2]:  $C_{\text{в}} = C_{\text{ва}} \bar{M}_a / \bar{M}$ ,

Табл. 1. Минимальный сток летней межени

Река-пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Минимальный суточный сток			
		средний многолетний		за 1960 г.	
		расход воды, м <sup>3</sup> /с	модуль стока, л/(с·км <sup>2</sup> )	расход воды, м <sup>3</sup> /с	модуль стока, л/(с·км <sup>2</sup> )
Удранка—Удранка	183	0,50	2,7	0,61	3,3
Птичь—Леуковщина	175	(0,40)	2,3	0,51	2,9
Рыбчанка—Радошковичи	148	0,69	4,7	0,77	5,2
Вяча—Паперня	142	(0,21)	1,5	0,27	1,9
Гуйка—Радошковичи	97	0,10	1,0	0,13	1,3
Вязьинка—Радошковичи	51	0,59	11,6	0,64	12,6
Гайна—Гайна*	15,7	49	3,1	52	3,3
Ручей (б/н) — Кальсберг*	6,0	1,8	0,3	2,3	0,4

\* Расходы воды по Гайне и Ручью приведены в л/с.

где  $\bar{M}_a$  и  $\bar{M}$  — соответственно модули минимального стока объекта-аналога и расчетного створа,  $C_{va}$  — коэффициент изменчивости аналога.

Коэффициент асимметрии ( $C_s$ ) принимается на основании данных обобщений для группы однородных по режиму рек [3].

Оценка параметров распределения при достаточном объеме суточных минимумов из декад возможна также графоаналитическим способом [3]. При наличии данных о стоке разной обеспеченности по ряду объектов-аналогов или группе рек целесообразен анализ модульных коэффициентов для использования их в расчете стока заданной обеспеченности в проектном створе.

Приведем пример практического использования предложенной методики. Для этого рассмотрим минимальный сток малых рек в III гидрологическом районе Белоруссии [8, 9]. Основные характеристики стока по малым рекам приведены в табл. 1.

Как следует из таблицы, модули минимального стока в этом гидрологическом районе изменяются в значительных пределах. Какая-либо закономерность в их распределении по территории не наблюдается.

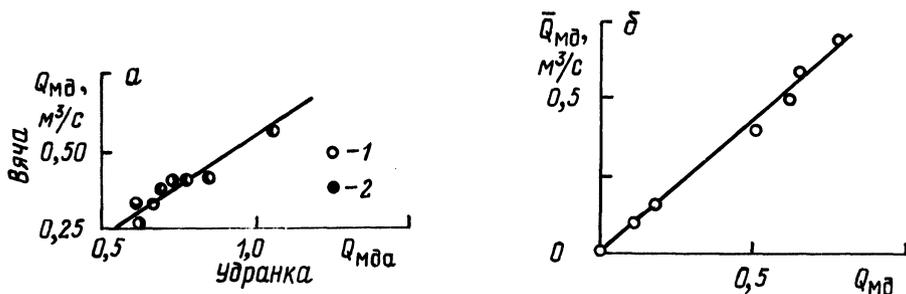


Рис. 2. Связи минимальных расходов воды: а — суточных декадных ( $Q_{мд}$ ) за сезон 1960 г. по рекам Вяча и Удранка; б — норм суточных ( $Q_{мд}$ ) и суточных декадных ( $Q_{мд}$ ) за сезон 1960 г. по III гидрологическому району; 1 — соответственные значения и 2 — равнообеспеченные.

В качестве примера рассмотрим расчет минимального стока по р. Вяче у Паперни (до создания водохранилища на водосборе), по которому имеется ряд наблюдений в естественном режиме. Для определения нормы минимального суточного стока летней межени в створе Вяча—Паперня выбран объектно-аналог Удранка-Удранка. На основе обработки суточных минимумов из декад за лето 1960 г. составлена выборка объемом в восемь единиц.

Связь этих характеристик показана на рис. 2, а, где одновременно нанесены их равнообеспеченные значения. По данному графику или с помощью уравнения регрессии можно рассчитать норму минимального суточного стока.

Одновременно по данным табл. 1 получена удовлетворительная районная связь норм минимального суточного стока с минимумами за летне-осенний сезон 1960 г. (рис. 2, б). Минимальный суточный расход воды, снятый с графиков 2,а и 2, б, оказался равным  $0,23 \text{ м}^3/\text{с}$ , что соответствует модулю  $1,6 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ ; расход воды, определенный по короткой выборке традиционным способом, —  $0,21 \text{ м}^3/\text{с}$  (см. табл. 1).

Коэффициент вариации рассчитан по формуле (1) на основе выборки минимумов из декад за летне-осенний период 1960 г. Показатели изменчивости  $V_K$  по Вяче и Удранке, соответственно, 0,82 и 0,60. Поправочный коэффициент

к коэффициенту вариации стока Удранки  $K_{Cv} = \frac{0,3}{0,6} = 0,5$ . Тогда коэф-

фициент вариации стока Вячи  $C_v = 0,82 \cdot 0,5 = 0,41$ . Коэффициент асимметрии получен по аналогии:  $C_S = 2C_v = 0,82$ . Рассчитанные параметры кривой распределения дают возможность установить минимальный суточный сток любой заданной обеспеченности.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет надежно определять расчетные величины характеристик минимального стока по ограниченной информации. Это особенно важно в условиях гидрологического обоснования водохозяйственных проектов, связанных с использованием малых рек, водный режим которых изучен недостаточно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В л а д и м и р о в А.М. Сток рек в маловодный период года. — Л., — 1976, — 295 с.
2. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. — Л., 1973. — 111 с.
3. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик. (СН 435—72. — Л., 1972. — 20 с.)
4. П е т р о в Г.Н. Меженный сток и его изучение. — Казань, 1956. — 220 с.
5. Л е б е д е в В.В. Гидрологические и водохозяйственные расчеты для проектирования сооружений водоснабжения. — М. — Л., 1965. — 395 с.
6. Л у ч ш е в а А.А. Практическая гидрология. — Л., 1976. — 440 с.
7. Д р о з д В.В. Восстановление годового стока по ограниченной информации. — В сб.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1981, вып. 11, с. 9—14.
8. Д р о з д В.В. О расчете минимального стока малых рек. — В сб.: Проблемы мелиорации Полесья. Минск, 1970, ч. II, с. 72—76.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР/ Под ред. К.А.Клюевой. — Л., 1966. — 718 с.