

ГИДРОЛОГИЯ

Р. Г. ЗАДОРЖНАЯ

ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ НОРМЫ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА
ПРИТОКОВ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. АРАКС

В настоящей работе автором в качестве основной характеристики минимального стока приняты наименьшие среднемесячные расходы (модули) летне-осенней (VII—XI) и зимней межени (XII—III) отдельно. Однако, в расчетах пользовались средними минимальными расходами, подсчитанными за многолетие. Исследования проводились на примере непересыхающих рек.

Точность расчета характеристик минимального стока определяется качеством исходных материалов, основным недостатком которых является слабая освещенность нижней части кривой зависимости $Q = f(H)$ — измеренными расходами. Это обстоятельство часто вынуждает при расчетах минимальных расходов прибегать к экстраполяции, что в свою очередь вносит погрешность, которая не поддается точному учету. Невысокая точность экстраполяции наглядно обнаруживается при построении графиков связи двух смежных постов. Нередки случаи, когда минимальный расход вышележащего поста значительно отличается от такового для нижележащего поста. Поэтому в целях контроля приходилось увязывать минимальные расходы не только смежных постов, но и вообще по длине реки.

Вода рек и речек, в пределах рассматриваемой территории, используется для целей водоснабжения и ирригации не только в предгорных районах или при выходе на равнину, как это практикуется в Средней Азии, но нередко непосредственно у места образования сосредоточенного водотока. Поэтому о естественной величине расхода можно судить только при наличии достаточно точных сведений о величине отъемов, независимо от их значения. В данной работе естественные расходы получены на основании сведений по стоку, помещенных в гидрологических ежегодниках, сведений по отборам для ирригационных целей, а также для нужд водоснабжения.

При определении естественных минимальных расходов реки Севджура, формирующей межениные расходы, в основном, за счет артезианских вод Араратской котловины, артезианская составляющая была вычтена.

Расчетный период был принят с 1935 по 1962 годы. Однако из 32 расчетных створов насчитывается всего 15 створов с таким перио-

дом наблюдений или близким к нему, поэтому период наблюдений оставшихся 17 створов путем удлинения был приведен к расчетному.

Для удлинения ряда прежде всего использовались графики связи

$$Q_N = f(Q_n), \quad (1)$$

где Q_N — норма минимальных расходов поста-аналога; Q_n — норма минимальных расходов исследуемого поста.

Кроме того, приведение короткого ряда к данному осуществлялось еще по формуле С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля [1]

$$Q_N = Q_n + r \frac{\sigma_{Q_N}}{\sigma_{Q_n}} (Q'_N - Q'_n). \quad (2)$$

Здесь Q_N и Q_n — средние наименьшие расходы по рассматриваемому посту; Q'_N и Q'_n — средние наименьшие расходы по посту-аналогу; σ_{Q_N} и σ_{Q_n} — средние квадратичные отклонения по рассматриваемому посту; r — коэффициент корреляции между Q и Q' .

Методика исследования для приближенного расчета нормы минимального расхода (модуля) строилась на основе зависимости (1) с учетом модульного коэффициента (K). Однако исследования осуществлялись еще и в направлении выяснения зависимостей $q_{m.l} = f(H)$ и $q_{m.l} = f(H_{BR})$. Здесь H — средне-взвешенная высота бассейна до замыкающего створа; H_{BR} — глубина врезания русла, величина которой определялась как разность между средней высотой бассейна и отметкой нуля графика поста.

Прежде всего исследования были направлены на выяснение связи модуля минимального летнего стока ($q_{m.l}$) от нормы годового стока (q) т. е.

$$q_{m.l} = f(q). \quad (3)$$

Построив такую зависимость, легко заметить, что точки исследуемой территории располагаются на семействе прямых, расположенных иеорообразно под различными углами по отношению к оси абсцисс в логарифмической шкале. Эти зависимости вместе с экспериментальными точками представлены на рис. 1 в обычной шкале. Анализ показывает, что расположение точек, в основном, регулируется геологией территории. В качестве такого показателя, которым можно было бы объяснить расположение точек, принят модульный коэффициент

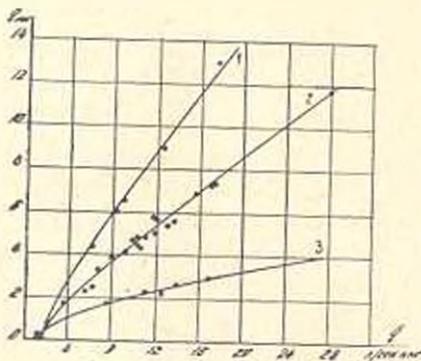


Рис. 1. Зависимость модуля минимального стока летней межени ($q_{m.l}$) от модуля среднего-годового стока (q). 1 — бассейны с сильно, 2 — средние, 3 — слабо-регулируемым стоком.

($K = Q_{\text{ст.}}/Q$) или $q_{\text{ст.}}/q$), которым, в частности, воспользовался в своих исследованиях А. Н. Важнов [2].

Несколько иной подход был применен в работах [3, 4], авторы которых исследовали степень зарегулированности бассейнов рек территории Армянской ССР. Было установлено, что коэффициент естественной зарегулированности изменяется в пределах от 0,15 до 0,75. Следует также отметить, что в основу этих исследований авторы положили материалы фактических наблюдений, поэтому в настоящей работе использовать их результаты не представлялось возможным.

В результате анализа оказалось, что в пределах исследуемой территории можно выделить три основных вида бассейнов:

1. Бассейны рек с высоким модульным коэффициентом $K_{\text{ср}} = 0,73$. Предельные значения его $0,91 > K > 0,61$. В данном случае межениый сток незначительно отличается от нормы полного среднегодового стока. К числу таких относятся реки, бассейны которых образованы четвертичными андезито-базальтовыми лавами и известняками. Как один, так и другой комплекс пород обладает большой трещиноватостью, с благоприятными условиями для инфильтрации атмосферных осадков вглубь, где они собираются и выходят на дневную поверхность в эрозионных оврагах и балках в виде родников, а в районе озера Севан — непосредственно в озеро.

2. Бассейны рек со средними модульными коэффициентами, где $K_{\text{ср}} = 0,48$ (значение модульного коэффициента находится в пределах $0,60 > K > 0,31$).

3. Бассейны рек с низким модульным коэффициентом $K_{\text{ср}} = 0,21$, (предельные значения его $0,10 \leq K \leq 0,30$), которые дают существенную разницу между межениым и полным годовым стоком. Сюда относятся бассейны, сложенные слабопроницаемыми вулканогенными породами (бассейны рек: Мармарик, Далар, Гомур), а также бассейны, сложенные сильно трещиноватыми породами или аллювиальными отложениями, которые, наоборот, заметно поглощают, и воды, фильтруясь, уходят либо в более глубокие водоносные горизонты, либо выклиниваются на дневную поверхность в другом бассейне (Карангу, Гарновит, Дзыкнагет).

Область распространения бассейнов с высоким коэффициентом представлена в верховье левобережья реки Ахурян (р. Гукасян — п. Красар, Ахурян — п. Амасия); в бассейне озера Севан — северо-восточный берег (р. Джил — п. Джил), юго-восточная часть озера — приустьевая часть бассейна (р. Масрик — п. Цовак). Интересно отметить, что р. Масрик еще в средней своей части (п. Мазра) относится к типу рек с низким модульным коэффициентом ($K = 0,12$), а в нижней части — с высоким ($K = 0,73$). Это явление объясняется довольно высоким межениым стоком, который река формирует из артезианских вод Мазринской равнины. Высоким коэффициентом отличаются как восточные склоны Гегимского хребта (рр. Ганарагет — п. Нордуз, Бахтак —

п. Цаккар, Личк—п. Личк), так и западные (р. Азат—п. Гарни, Зовашен).

Что касается распространения бассейнов с низким коэффициентом ($K_{ср} = 0,21$), здесь нужно отметить область, которая охватывает верховья правобережной части р. Ахурян (бассейны рр. Кармаван, Чивили, Элларгет) и северо-западный склон г. Арагац (рр. Гарновит, Карангу). Следующая наибольшая область охватывает верховья правобережной части р. Раздан, смыкаясь с северо-западной частью бассейна озера Севан и простирается до годораздела р. Ардашиш (рр. Мармарик, Далар, Гомур, Дзыкнагет, Тохлуджа), а также отдельными небольшими пятнами на западном склоне Севанского (рр. Гюней, Шамнырт) и юго-западном склоне Варденисского хребтов (рр. Алучалу, Астхадзор). Отмечается небольшая территория с низким модульным коэффициентом в среднем течении реки Арпы (рр. Даракорт, Зиракиджур, Терп). Такое распространение бассейнов с различными коэффициентами можно объяснить сложностью геологической обстановки исследуемой территории.

Классификация рек по модульному коэффициенту

Таблица 1

Типы рек	Река — пункт	$Q_{та}$	Q_2	H_1	H_2	$k = \frac{Q_{та}}{Q}$
		л сек	км ³	м	м	
1. Бассейны рек с высоким модульным коэффициентом	Джил — Джил	6,54	9,00	2480	370	0,73
	Масрик — Цовак	4,33	6,04	2310	402	0,72
	Гаварагет — Норадуз	5,99	8,18	2430	514	0,73
	Азат — Гарни	13,0	17,5	2420	1200	0,74
	Азат — Зовашен	9,05	12,5	2220	1265	0,72
2. Бассейны рек со средним модульным коэффициентом	Ахурян — Капе	4,69	9,94	2210	545	0,47
	Ахурян — Ахурик	3,85	7,89	2100	641	0,49
	Ахурян — Айкадзор	1,76	3,56	2010	613	0,49
	Сенджур — Эчмядзин	5,76	11,7	1660	831	0,49
	Сенджур — Ралчпар	5,71	11,9	1610	788	0,48
	Касах — Анарик	0,88	2,13	2320	441	0,41
	Касах — Зонун	2,31	5,48	2260	453	0,42
	Касах — Аштарак	3,28	6,57	2100	1067	0,50
	Раздан — Канакер	4,77	10,2	2060	1011	0,46
	Раздан — Масис	4,45	9,18	1800	1037	0,48
	Найбак — Намбак	4,80	11,0	2510	488	0,43
	Варденик — Варденик	6,90	15,6	2680	716	0,44
	Аргичи — Геташен	5,37	13,0	2470	528	0,41
	Карадзи — Карадзи	7,39	17,4	2600	334	0,42
	Веди — Карабахлар	2,52	6,2	2090	971	0,41
	Арпа — Келуг	11,7	27,9	2750	823	0,42
Арпа — Чейкенд	5,63	13,6	2320	1044	0,41	
Арпа — Ехегнадзор	4,15	9,10	2140	1065	0,45	
Арпа — Ареш	4,32	10,5	2100	1130	0,41	
Элегис — Шатин	7,27	17,1	2350	1136	0,42	
Салигет — Шатин	5,07	11,8	2070	818	0,43	
3. Бассейны рек с низким модульным коэффициентом	Мармарик — Агавилвор	2,61	13,7	2350	6,0	0,22
	Далар — Арагван	2,69	11,0	2110	5,7	0,20
	Гомур — Метрадзор	2,57	16,8	431	639	0,18
	Дзыкнагет — Цовагюх	2,33	12,7	22,0	303	0,18
	Карангу — Карибжалян	0,31	1,15	2020	555	0,26
	Гарновит — Гарновит	1,75	7,50	2640	49,0	0,22

Результаты расчетов для каждой кривой в отдельности дают вполне приемлемые результаты, что позволяет использовать полученные кривые в первом приближении для расчета нормы минимального стока. Аналитически полученные зависимости можно представить в следующем общем виде:

$$q_{\text{тн}} = c (q)^n. \quad (4)$$

Значение параметров c и n , а также коэффициента корреляции (r) и среднеквадратичной ошибки (ε) по Гауссу приведены в нижеследующей таблице.

Таблица 2

Районы	c	n	r	$\varepsilon, \%$
1	8,00	0,96	0,99	10,0
2	3,94	1,05	0,99	6,4
3	1,91	1,02	0,99	17,2

Обращает на себя внимание параболическая форма кривых зависимостей (3) тем, что кривые не проходят через начало координат, а отсекают от оси абсцисс отрезки, пропорциональные величине площади нулевого стока (F_0). Величина этих отрезков колеблется в пределах 1—2 л/сек км². На эту особенность обращал внимание в своей работе А. Н. Важинов [2]. Площадь нулевого стока [5] является хорошим показателем минимального стока, так как она зависит от тех же физико-географических факторов, что и минимальный сток. Поэтому при исследовании формирования минимального стока рек, как рекомендует автор работы [5], следует принимать не всю площадь водосбора, а разность $F - F_0$. Однако, вопросы о величине распространения площадей нулевого стока в настоящей работе не изучались, поэтому в расчетах принималась полная площадь бассейна. В результате анализа исходных материалов оказалось, что минимальные расходы (модули) летне-осенней и зимней межени по абсолютной величине отличаются друг от друга. Как правило, годовой абсолютный минимум приходится на зимнюю межень; минимальные расходы (модули) летне-осенней межени чаще приходятся на осенние месяцы. Сравнение минимальных модулей летне-осенней и зимней дают разницу которая не превышает 1,30 л/сек км². Кроме того, построив зависимость

$$q_{\text{мз}} = f(q_{\text{лз}}), \quad (5)$$

где $q_{\text{мз}}$ — модуль минимального зимнего стока, — получена настолько тесная зависимость (рис. 2), что ее можно вполне использовать как переходную для расчета минимальных расходов (модулей) зимней межени.

Для определения минимального расхода (модуля) зимней межени достаточно полученное расчетным путем значение расхода (модуля) летней межени умножить на постоянный переходный коэффициент

$K = 0,92$. Наряду с влиянием климатического фактора было интересно выяснить степень влияния геологии бассейна в зависимости от средней высоты бассейна.



Рис. 2. Зависимость между модулями минимального стока зимней и летней межени.

тание. В таких случаях модули полного стока, а тем более минимального стока, будут заметно отличаться друг от друга вследствие различия гидрогеологических условий, несмотря на то, что климатические условия будут одинаковы.

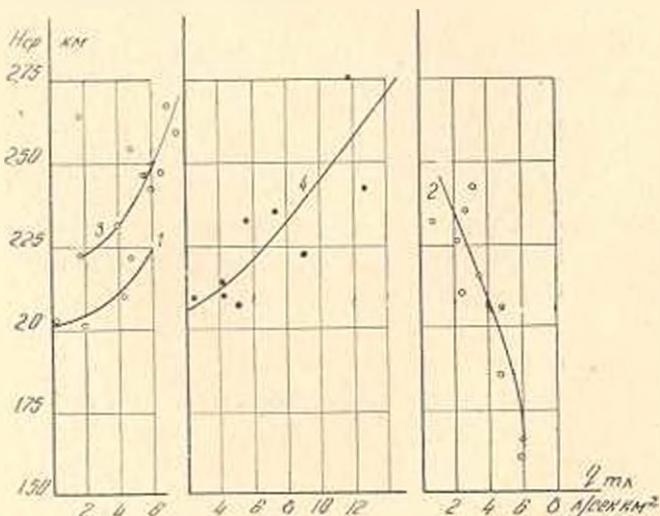


Рис. 3. Зависимость модуля минимального стока летней межени от средней высоты бассейна. 1 — Северо-западный район; 2 — Центральный; 3 — бассейн оз. Севан; 4 — Южный.

Исходя из этих предпосылок и были построены зависимости $Q_{\min} = f(H)$, на основании которых в пределах рассматриваемой территории было выделено четыре района: I — Северо-западный, бассейн р. Ахурян, II — Центральный (бассейны рек: Касах, Раздан, Севджур), III — Бассейн оз. Севан, IV — Южный (бассейны рек: Азат, Веди, Арпа).

Из рис. 3 можно видеть, что полученная связь неоднозначна. Так, для районов 1, 3 и 4 зависимость подтверждают нарастание модуля минимального стока с высотой местности, для района 2, наоборот, уменьшение. Объяснение полученной обратной зависимости можно найти только в гидрогеологической обстановке исследуемой территории. Бассейны, входящие в этот район, сложены, в основном, мощным (до 600 м) четвертичным лавовым комплексом, отличающимся наличием сильно трещиноватых пород, которые целиком поглощают атмосферные осадки. Трещиноватость пород в некоторых местах доходит до подошвы отдельных лавовых потоков. Это создает благоприятные условия для формирования мощных водных потоков на большой глубине, которые текут по палеодолинам подлавого рельефа и разгружаются в современных эрозионных понижениях. Однако благодаря глубокому проникновению, подземные воды могут только частично выходить на дневную поверхность в среднегорных районах. Оставшаяся часть стекает в направлении меньших отметок, подпитывая артезианский бассейн Араратской котловины. На примере района 2 легко убедиться, что геологическое строение территории, может повлиять на закономерность распределения минимального стока.

Для каждого выделенного района были построены зависимости

$$q_{\text{мл}} = f(H_{\text{вр}}). \quad (6)$$

Построив такую зависимость (рис. 4), можно отметить тенденцию нарастания модуля минимального летнего стока по мере заглубления русла. На рис. 4 имеются заметно отклоняющиеся точки. Анализ при-

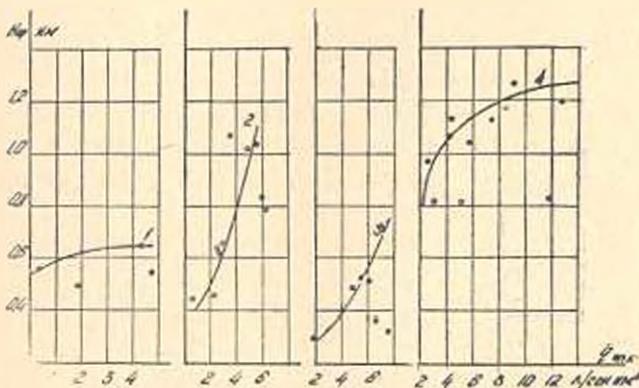


Рис. 4. Зависимость модуля минимального стока летней межени от глубины презанья русла.

чин их отклонения приводит к выводу об огромном влиянии, которое вносит гидрогеологическая обстановка в процесс дренирования подземных вод. Так, на кривой 4 (рис. 4) можно видеть заметное отклонение точек (ин. Кечут — $H_{\text{вр}} = 822$ м; Чайкенд — $H_{\text{вр}} = 1044$ м; Гарли — $H_{\text{вр}} = 1200$ м). В данном случае имеем завышенный модуль минимальных расходов. Это явление объясняется наличием, в пределах указанных районов, водообильных зон, существование которых обус-

ловлено благоприятными геологическими условиями. В результате река, в зависимости от геологической обстановки, при одинаковой глубине врезания русла, может дренировать, а следовательно и формировать, неодинаковые расходы. Несмотря на отдельные аномалии, влияние глубины врезания на формирование меженных расходов прослеживается. Таким образом, предложенный приближенный способ расчета позволяет с достаточной для практических целей точностью определить модули минимального стока как для летне-осенней, так и для зимней межени.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 30.VII.1965.

Ռ. Գ. ԶԱԴՈՐՈՋՆԱՅԱ

ԱՐԱՔՍ ԳԵՏԻ ՄԻՋԻՆ ՀԱՍՆԵՐ ՎՏԱԿՆԵՐԻ ՄԵԿԻՄԱ ՀԱՐՔԻ ԻՌԱՏԱՎՈՐ ՈՐՇՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հողածուր բերվում է մինիմալ հոսքի մոդուլի փոփոխությունների և միջին հոսքի մոդուլի տանջությունը, որը ներկայացված է զՓ. 1-ի վրա: Գիտարկվող գետերը բաժանվում են 3 հիմնական խմբերի՝ առավել, միջին և թույլ կանոնավորվածության առաժանի: Գժ. 2-ի վրա ներկայացված է ամռան և ձմռան մինիմալ հոսքերի մոդուլների կապը:

Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ առավել կանոնավորված հոսք ունեցող գետերի համար կանոնավորվածության գործակիցը $K=0,73$, միջինը՝ $0,48$ և թույլը՝ $0,21$: Առնչությունն ունի (4) տեսքը, բնագործ աչք բնորոշող պարամետրերի արժեքները բերված են աղյուսակ 2-ում:

Առաջարկված մոտավոր մեթոդը հետազոտություն է տալիս գործնական նպատակների համար անհրաժեշտ էշտությունը որոշել մինիմալ հոսքի մոդուլը, միջին հոսքի մոդուլի և կանոնավորվածության գործակիցի միջոցով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Крицкий С. П., Меньков М. Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. Изд. АН СССР, М.—Л., 1950.
2. Ваджнов А. П. Средний многолетний сток рек Армянской ССР и его внутригодовое распределение. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1956.
3. Торгомын А. С. Характеристика водных ресурсов горных рек с точки зрения их энергетического использования. Изд. АН АрмССР, сер. ФМЕТ, т. VIII, № 2, 1955.
4. Шахбазян Ш. А. К типизации кривых обеспеченности среднесуточных расходов рек Армянской ССР. Изд. АН АрмССР, сер. ФМЕТ, т. IX, № 10, 1956.
5. Курдов А. Г. К вопросу изучения минимального стока малых рек. Метеорология и гидрология, № 1, 1961.