

А. Н. АГАРОНЯН

УСТАНОВЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО КАЛЕНДАРНОГО РЯДА  
ГОДОВОГО СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИКЛИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ  
(Реки северной и северо-восточной части Арм. ССР)

Режим стока наносов относится к числу наименее разработанных проблем гидрологии. Это является следствием исключительной сложности проблемы и отсутствия достаточных (как в отношении объема информации, так и в отношении точности измерений) материалов наблюдений.

Как показал И. В. Егназаров [3—5], эти данные значительно занижены за счет недоучета концентрации взвешенных наносов в придонном слое потока. Это положение утверждается многими как отечественными, так и зарубежными исследователями [4].

Вместе с тем знание режима стока наносов крайне необходимо при решении многих водохозяйственных задач, относящихся к области мелиорации, гидроэнергетики, коммунального хозяйства и т. д.

Особенно важно рассмотрение всех аспектов этой проблемы применительно к условиям горных территорий, где эти явления развиваются весьма интенсивно и оказывают большое влияние на экономику многих районов.

При гидрологических расчетах оказывается необходимым установить расчетный календарный ряд годовых величин стока. Для облегчения этих расчетов желательно, чтобы расчетный ряд был не очень велик, но вместе с тем, чтобы он достаточно правильно и полно отражал характеристику многолетнего колебания стока.

Имеющиеся материалы наблюдений над стоком воды и взвешенных наносов с различными периодами необходимо привести к единому ряду или выбрать определенный период наблюдений, при котором среднее значение расходов воды и взвешенных наносов было бы близким к их средне-многолетнему значению, т. е. к норме. Вопросу расчета нормы годового стока и ошибки ее определения, в частности, в условиях наличия циклических колебаний и коррелятивной связи между смежными членами ряда, посвящены специальные работы в отечественной и зарубежной литературе, в которых обосновывается применимость к этим расчетам методов математической статистики и теории вероятности.

Норма (т. е. средне-арифметическая или центр распределения) есть прежде всего понятие статистическое и вместе с коэффициентами вариации и асимметрии составляет совокупность параметров, определяющих кривую распределения значений случайной величины; определяется только как среднее арифметическое из какого-то конечного ряда значений годового стока. Поэтому и неизбежно допускаются какая-то

ошибка, которая зависит от числа членов ряда  $n$ , а также от коэффициента вариации  $C_v$  и выражается следующей формулой

$$\sigma_N = \pm 0,67 \frac{100 \cdot C_v}{\sqrt{n}} \%$$

Из этой формулы определяется требуемое число лет ряда  $n$  для получения нормы с заданной точностью.

$$n = \frac{C_v^2 \cdot 10^4}{\sigma_N^2}$$

Пределы колебания значений коэффициента вариации и числовые результаты расчета по формулам, для рек территории Армянской ССР характеризуется данными таблицы 1 и графиком связи  $\sigma_N = f(n)$  для разных значений (фиг. 1).

Таблица 1

Значение среднеквадратической ошибки  $\sigma_N$  (в %) в зависимости от числа членов ряда  $n$  и коэффициента вариации  $C_v$

$C_v$	$n$						
	2	5	10	20	50	80	100
0,20	14,2	8,9	6,4	4,5	2,8	2,2	2,0
0,30	21,2	13,4	9,5	6,7	4,2	3,4	3,0
0,40	28,3	17,8	12,6	8,9	5,7	4,5	4,0
0,50	35,4	22,2	15,8	11,2	7,1	5,6	5,0
0,60	42,5	25,8	19,0	13,4	8,5	6,7	6,0
0,70	49,6	31,2	22,1	15,7	9,9	7,8	7,0
0,80	56,7	35,6	25,3	17,9	11,3	8,9	8,0
0,90	63,9	40,1	28,5	20,1	12,7	10,1	9,0
1,00	71,0	44,5	31,6	22,4	14,1	11,2	10,0
1,10	78,0	49,2	34,8	24,6	15,6	12,3	11,0
1,20	85,2	53,5	38,0	26,8	17,0	13,4	12,0
1,30	92,0	58,1	41,0	29,1	18,4	14,5	13,0

Из этих данных видно, что при имеющемся обычно числе членов ряда 20—21 год, средняя ошибка для рек Армянской ССР (при  $C_{vR} = 0,57—1,21$ ) составляет 11—29%.

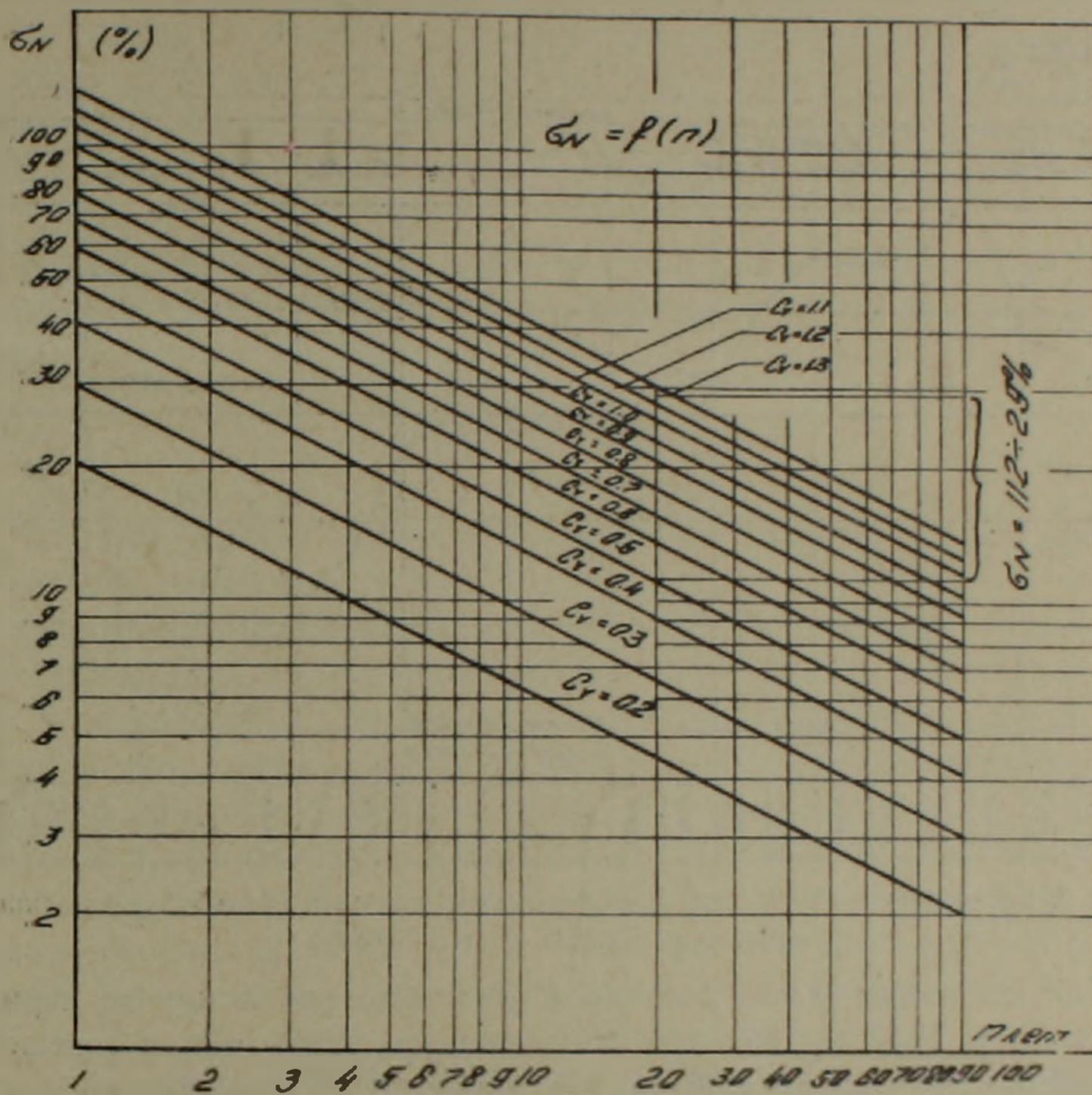
Фактическая величина ошибки для рассматриваемого ряда годовых величин стока взвешенных наносов в сильной степени зависит от положения рассматриваемого ряда в общей календарной последовательности в многолетнем ряду, что объясняется циклическостью колебаний годового стока.

Существующее в расчетной практике стремление к увеличению длительности ряда дополнительными годами для повышения точности определения нормы, без учета циклических колебаний, является неверным. Удлинение ряда во многих случаях может не только не повысить, но даже снизить точность определения нормы.

Для того, чтобы гарантировать требуемую точность определения нормы, необходимо учесть циклическость колебаний стока и в имеющейся

календарной последовательности лет выбрать репрезентативный расчетный ряд.

При наличии последовательной смены циклов с высоким и низким стоком наносов, в расчетный ряд следует включить одинаковое количество таких циклов. Добавление цикла с высоким стоком наносов повлечет за собой преувеличение нормы, а добавление цикла с низким стоком наносов—преуменьшение.



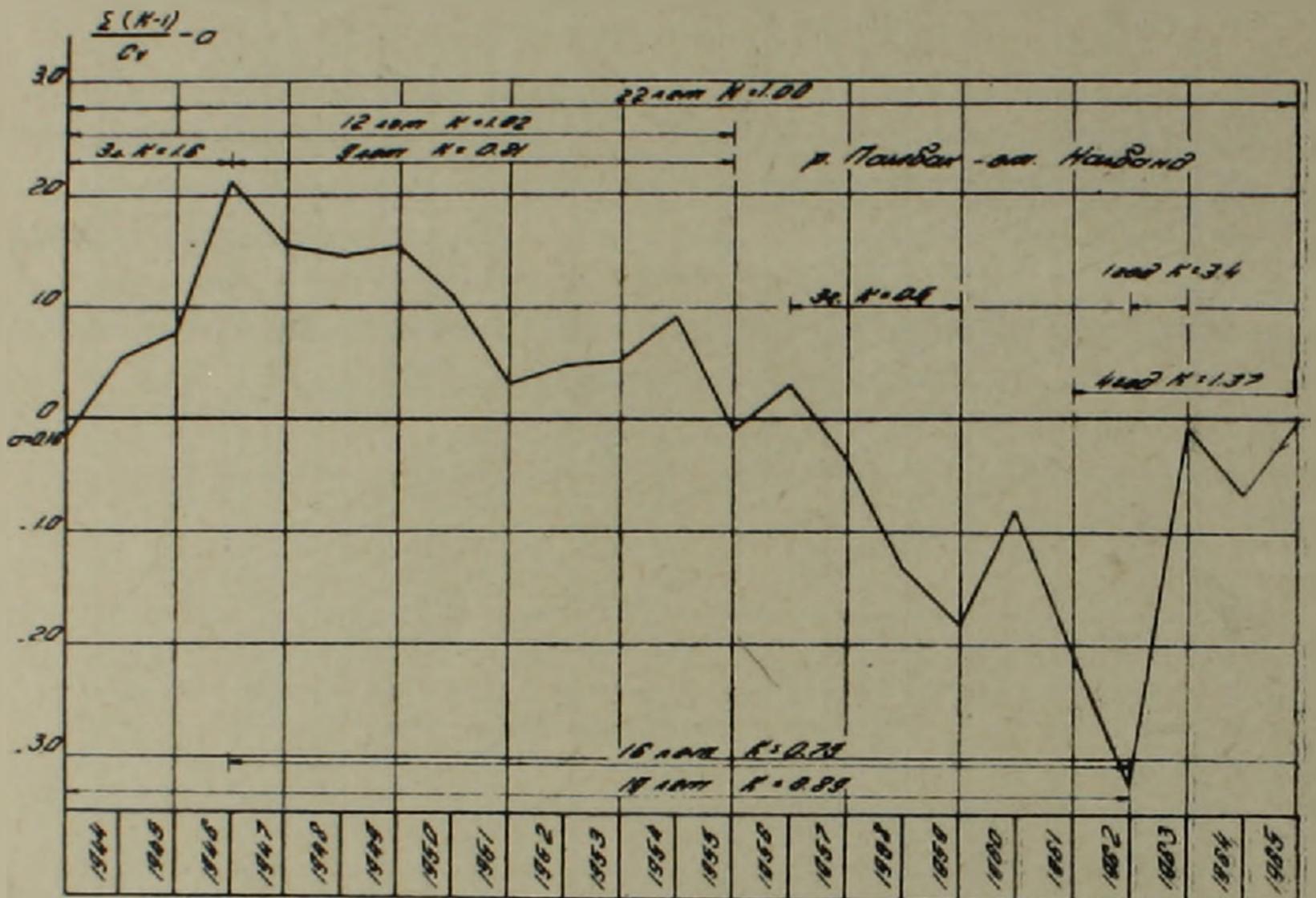
Фиг. 1. График зависимости относительной средней квадратической ошибки нормы годового стока  $\sigma_N$  % от коэффициента вариации  $C_{vR}$  и числа лет  $n$ .

Для анализа циклических колебаний годового стока взвешенных наносов и для выбора расчетного периода, с целью уточнения определения нормы стока наносов, наиболее наглядным и удобным является применение суммарной кривой отклонений модульных коэффициентов средних

годовых расходов взвешенных наносов от средних  $\sum_{i=1}^l (K - 1)$ , дающих на конец каждого  $i$ -ого года нарастающую сумму отклонений средних годовых модульных коэффициентов  $K$  от среднего многолетнего значения или нормы.

Приведем на примере р. Памбак у ст. Налбанд анализ циклических колебаний годового стока взвешенных наносов по разностной инте-

графальной кривой средних годовых расходов (фиг. 2). Мы видим на ней последовательную смену циклов с высоким и низким стоком наносов, разной длительности. Некоторые из этих циклов выражены очень четко, например, в цикле с 1951 по 1954 гг. имеют место только годы с высоким стоком наносов. В других циклах, с 1956 по 1959 гг.— только с низким стоком, а в цикле с 1946 по 1959 гг., на общем фоне с низким стоком наносов, проявляются отдельные годы или двух- трехлетние периоды с высоким стоком наносов.



Фиг. 2. Разностная интегральная кривая средних годовых расходов взвешенных наносов р. Памбак у ст. Налбанд.

Как мы видим, даже для такого сравнительно длинного периода, как 16 лет (с 1947 до 1962 гг.), отклонение от нормы может составлять 25%, тогда как среднеквадратическая ошибка при  $C_{vR} = 0.735$  составляет всего 10.7%.

Для отдельных, более коротких периодов отклонение от нормы может быть еще больше: так, для 3-летнего периода с 1957 по 1959 гг.— она составляет—50.5%, для трехлетия 1944—1946 гг.—60%.

Покажем, что простое увеличение числа лет ряда, без учета того обстоятельства, как эти годы располагаются по отношению к циклам водности, может привести не к уточнению определения нормы, а, наоборот, к снижению точности.

Например, 12-летний ряд— с 1944 по 1955 гг., включающий в себя периоды с высоким и низким стоком наносов, имеет средний многолетний расход 0,42 кг/сек., отклонение от нормы всего—2,5%. Удлинение этого ряда по 1962 г. (19 лет)—11%. Значит, если удлинять ряд, то надо включить в него, сверх того, еще и цикл с высоким стоком наносов (в данном случае 1963 г.). Полученный таким образом 22-летний ряд с 1944 по

1965 гг.— имеет средний многолетний расход взвешенных наносов 0.42 кг/сек., т. е. соответствует норме. Следовательно, расчетный период по норме может быть принят или 12-летний (с 1944 по 1957 гг.), или 22-летний (с 1944 по 1965 гг.). В первом случае он содержит по одному циклу с высоким и низким стоком наносов, водность которых одинаково отклоняется в обе стороны от нормы. Во втором случае расчетный период содержит по три таких цикла с высоким и низким стоком наносов.

Из приведенного примера видно, какое большое значение при установлении нормы годового стока воды и взвешенных наносов имеет правильный выбор расчетного ряда, по которому определяется норма.

Итак, расчетный период для створа ст. Налбанд на реке Памбак принимается в 22 года (с 1944 по 1965 гг.), средний расход взвешенных наносов составляет 0.42 кг/сек. и средний модуль стока  $M_{\text{ср}} = 1,14$  гр/сек. км<sup>2</sup>.

Коэффициент вариации годового стока взвешенных наносов за этот период  $C_{vR} = 0.735$ , средняя квадратическая ошибка при определении нормы составляет по формуле

$$\sigma_N = \pm 0,67 \frac{100 \cdot C_v}{\sqrt{n}} = \pm 10,7\%,$$

т. е. по этому критерию число членов ряда и точность определения нормы получаются достаточными.

Таким образом, очевидно, что хотя при выборе расчетного календарного периода для определения нормы и следует считаться с его положением по отношению к фазам циклических колебаний и включать в расчетный период полные циклы (одинаковое число последовательных фаз с высоким и низким стоком наносов), для снижения ошибки определения нормы следует стремиться к увеличению длительности ряда и ни в коем случае нельзя пренебрегать требованием возможно большей продолжительности расчетного периода. Это тем более относится к стоку наносов, так как под влиянием природных условий сток наносов отличается значительно большей изменчивостью по сравнению со стоком воды.

Наши анализы циклических колебаний годового стока взвешенных наносов для выбора расчетного периода охватили все большие реки северной и северо-восточной части территории Армянской ССР, по которым ведутся наблюдения над стоком взвешенных наносов.

По изложенным выше методам (во избежание повторений расчеты для всех пунктов не приводятся) в каждом конкретном случае мы построили суммарную кривую отклонений модульных коэффициентов от середины по выбранному опорному пункту. При необходимости восстановления значений годовых величин или сокращения периодов, которые не составляют полных циклов и изменяют величину нормы в сторону превышения или уменьшения, устанавливались расчетные календарные периоды.

Результаты приводятся в табл. 2 и приложении 1.

Таблица 2

Расчетный период и главные параметры, характеризующие режим годового стока взвешенных наносов

Река—пункт	Период наблюдений над стоком наносов	Расчетный период	Число лет	Средний модуль $M$ гр/сек км <sup>2</sup>	Коэф. вариаци.	Отклонение от нормы
Памбак—ст. Налбанд	1944—47; 49—65	1944—1965	22	1,14	0,735	10,7
Памбак—ст. Арчут	1962—65	1944—1965	22	3,29	0,666	9,6
Памбак—ст. Туманян	1946, 47; 49—65	1944—1965	22	3,00	0,720	10,3
Дебед—ст. Ахтала	1961—65	1944—1965	22	2,10	1,17	16,8
Дзорагет—г. Степанаван	1934, 35; 44—47; 58—65	1934—1935; 1944—1965	24	1,60	0,744	10,2
Дзорагет—ниже вп. Гергер	1934, 35; 44, 45; 50—65	1934—1935; 1944—1965	24	1,81	0,740	10,2
Агстев—г. Дилижан	1945, 46; 50—65	1945—1965	21	1,85	0,764	11,2
Агстев—г. Иджеван	1945, 46; 50—65	1945—1965	21	2,86	0,645	9,5
Ахум—с. Шахкаван	1953—1965	1948—1965	18	0,83	0,72	11,4

Сравнение данных, полученных автором с данными, опубликованными в гидрологических ежегодниках и в монографии доктора Г. Н. Хмаладзе, приводится в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение значений норм годового стока взвешенных наносов ( $R$  кг/сек), полученных из разных источников

Источники данных	р. Памбак—ст. Налбанд	р. Памбак—ст. Арчут	р. Памбак—ст. Туманян	р. Дебед—ст. Ахтала	р. Дзорагет—ст. Степанаван	р. Дзорагет—ниже впад. Гергер	р. Агстев—г. Дилижан	р. Агстев—г. Иджеван	р. Ахум—с. Шахкаван
По автору . . . . .	0,42	2,17	4,16	7,22	1,60	2,62	0,41	3,73	0,14
По гидрологическим ежегодникам . . . . .	0,42	2,94	4,48	14,0	1,86	2,64	0,41	3,64	0,15
По монографии Г. Н. Хмаладзе . . . . .	0,42	—	3,26	—	1,32	2,03	0,30	2,43	0,12

Как видно из табл. 3, полученные автором величины норм годового стока взвешенных наносов и данные УГМС для пунктов, имеющих период наблюдений, близкий к расчетному, имеют весьма небольшие расхождения, кроме р. Памбак—ст. Арчут и р. Дебед—ст. Ахтала. В указанных пунктах имеются наблюдения за 1962—1965 гг., которые отличались многоводностью и высоким стоком наносов, поэтому и среднемноголетнее значение стока наносов за этот период завышено против нормы.

Данные, опубликованные в монографии Г. Н. Хмаладзе, которые охватывают период наблюдений до 1957 года, занижены. Это объясняется тем, что использованный автором [8] период очень беден наблюде-

ниями, а имеющиеся данные включали в себя большое число годов с низким стоком наносов.

Необходимо учесть, что применяемая методика изучения стока взвешенных наносов требует уточнения, так как она не учитывает придонный слой потока (см. стр. 1). Как показали многие исследователи, занижение достигает в среднем пределов от 1.24 (Р. Фемевил, США) до 2.7 (по Гумати ГЭС-1) и до 3.0 (по Тквибули ГЭС). Это обстоятельство необходимо учесть при использовании данных из ежегодников гидрометслужбы и цифр, приведенных здесь в табл. 3 [9].

Исходя из вышеизложенного, по мнению автора, можно прийти к заключению, что выбор расчетного периода для вычисления нормы, без учета циклических колебаний годового стока, приводит к неточным результатам.

Колебания годового стока наносов рек Армении происходят в виде смены циклов низкого или высокого стока наносов, продолжительностью циклов от 2 до 13 лет.

Полученные нормы годового стока взвешенных наносов, приведенные в приложении, с учетом циклических колебаний, надежны и их можно использовать при проектировании гидротехнических и водохозяйственных сооружений.

Ереванский политехнический институт  
им. К. Маркса

Поступила 10.V.1966.

### Приложение 1

Средне-годовые величины расходов взвешенных наносов и норма в кг/сек

Годы	Река-пост									
	р. Памбак— ст. Налбанд F=368	р. Памбак— ст. Арчут F=660	р. Памбак— ст. Туманян F=1370	р. Дебед— ст. Ахтала F=3430	р. Дзорагет— г. Степанаван F=1000	р. Дзорагет— ниже вп. р. Гергер F=1450	р. Агстев— г. Дилижан F=222	р. Агстев— г. Иджеван F=1300	р. Ахум— с. Шахаван F=169	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1934	—	—	—	—	1,59	3,42	—	—	—	—
1935	—	—	—	—	1,10	1,90	—	—	—	—
1944	0,64	3,17	2,28	3,00	0,80	1,31	—	—	—	—
1945	0,49	2,45	2,72	3,40	0,57	1,42	0,30	1,34	—	—
1946	0,84	4,12	1,78	2,75	3,46	5,10	0,52	1,36	—	—
1947	0,24	2,27	0,95	2,25	0,38	0,52	0,40	4,40	—	—
1948	0,40	2,02	5,56	7,50	2,00	3,55	0,45	4,80	0,19	—
1949	0,44	2,20	1,88	2,75	1,30	2,20	0,32	3,50	0,060	—
1950	0,28	1,42	3,30	4,00	0,70	1,14	0,29	3,18	0,056	—
1951	0,18	0,95	1,23	2,40	0,60	0,89	0,17	2,37	0,092	—
1952	0,47	2,34	5,86	8,00	1,65	2,89	0,31	2,69	0,084	—
1953	0,40	2,02	3,08	3,75	0,70	1,12	0,18	2,50	0,088	—
1954	0,51	2,52	5,14	6,60	1,10	1,85	0,30	1,87	0,12	—
1955	0,13	0,71	1,67	2,60	1,17	2,00	0,43	4,74	0,093	—
1956	0,54	2,75	4,73	6,00	3,17	5,78	0,27	4,03	0,23	—
1957	0,22	1,17	1,61	2,50	0,87	1,47	0,13	2,12	0,084	—
1958	0,12	0,72	2,80	3,50	0,77	1,50	0,17	1,60	0,27	—
1959	0,27	1,57	11,0	21,0	2,23	5,60	1,03	8,10	0,25	—
1960	0,74	3,65	5,30	7,00	4,82	3,50	1,20	6,50	0,20	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1961	0,026	0,27	0,72	2,25	0,34	0,32	0,074	0,39	0,006
1962	0,064	0,43	3,70	4,50	0,95	0,88	0,14	0,95	0,016
1963	1,40	6,80	16,0	39,0	3,90	8,00	1,05	7,60	0,40
1964	0,24	1,68	8,80	15,0	2,30	4,00	0,35	5,90	0,16
1965	0,60	2,75	6,60	9,20	1,80	2,50	0,50	8,30	0,12
Норма	0,42	2,17	4,16	7,22	1,60	2,62	0,41	3,73	0,14

Примечание: восстановленные значения расходов обозначены курсивом; в случае отсутствия данных или невозможности подсчета стока наносов проставлены тире (---).

Ա. Ն. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ

ԿԱԽՎԱԾ ԶՐԱԲԵՐՈՒԿՆԵՐԻ ՏԱՐԵԿԱՆ ՀՈՍՔԻ ՀԱՇՎԱՅԻՆ ՕՐԱՑՈՒՑԱՅԻՆ ՇԱՐՔԻ ԸՆՏՐՈՒՄԸ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՑԻԿԼԱՅԻՆՈՒԹՅԱՆ ԱՆԱԼԻԶԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հիդրոլոգիական հաշվարկումների և այլ ջրատնտեսական խնդիրների լուծման ժամանակ ջրի և ջրաբերուկների տարբեր ժամանակամիջոցների վերաբերյալ դիտարկումների տվյալների օգտագործումն առանց մի ընդհանուր սխտեմի բերելու, կլինե՞ր ոչ ճիշտ: Այդ իսկ պատճառով անհրաժեշտ է դրանք բերել մեկ ընդհանուր շարքի կամ ընտրել որոշակի ժամանակամիջոց, որի դեպքում ջրի կամ ջրաբերուկների ելքի միջին արժեքը մոտ լինի նրա միջին բազմամյա արժեքին, այսինքն նորմային: Զրաբերուկների հոսքի տարեկան մեծությունների հետազոտվող շարքի համար սխալի մեծությունը խիստ կերպով կախված է շարքի անդամների թվից, վարիացիայի գործակցից, ինչպես նաև բազմամյա շարքում նրա գրաված դիրքից, որը բացատրվում է տարեկան հոսքի տատանումների ցիկլայնությամբ: Շարքերի երկարությունը լրացուցիչ տարիներով ավելացնելու գոյություն ունեցող ձգտումը նորմայի որոշման ճշտության բարձրացման համար, երբ հաշվի չի առնվում տատանումների ցիկլայնությունը, հանդիսանում է սկզբունքորեն սխալ: Շատ դեպքերում շարքի երկարացումը կարող է ոչ միայն չբարձրացնել, այլ նաև իջեցնել նորմայի որոշման ճշտությունը:

Հաշվային ժամանակամիջոցի ընտրության համար ավելի ակնհայտ և հարմար է հանդիսանում միջին տարեկան ելքերի մոդուլային գործակիցների միջին արժեքից շեղումների ինտեգրալ կորի կիրառումը:

Տատանումների ցիկլայնության անալիզը և դրա հիման վրա հաշվային ժամանակամիջոցի ընտրումը բերված է Փամբակ գետի նալբանդ կայանի դիտակետի օրինակով: Հաշվարկում ընդգրկված են ՀՍՍՀ հյուսիսային և հյուսիսարևմտյան մասի բոլոր գետերը, որոնց վրա կատարվում են դիտարկումներ ջրաբերուկների հոսքի վերաբերյալ:

Այսպիսով, հաշվային տեղումների ընտրումը միջին տարեկան ելքերի մո-  
դուլային գործակիցների միջին արժեքից շեղումների ինտեգրալ կորի օգնու-  
թյամբ, երբ հաշվի է առնված տառանումների ցիկլայնությունը, հնարավո-  
րություն է տալիս ստուգել, թե ինչքանով ճիշտ է ընտրված ռեպրեզենտատիվ  
շարքը:

Հաշվարկների արդյունքները բերված են աղյուսակ 2-ում և հավելվածում:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Андреенов В. Г. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. Гидрометеониздат, Л., 1957.
2. Андреенов В. Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологиче-  
ских расчетах. Тр. ГГИ, вып. 68, 1959.
3. Егназаров И. В. Расход влекомых потоком наносов. Изв. АН Арм. ССР, СТН, 1949,  
№ 5.
4. Егназаров И. В. Наука о движении наносов, сопредельные науки и возможности  
экспериментирования. Изв. АН СССР, М., 1960.
5. Егназаров И. В. Сопоставление методов расчета расхода наносов с измерениями в  
натуре. Сб. Методы изуч. и использ. водн. ресурсов. Изд. «Наука», М., 1964.
6. Крицкий С. Н. и Менкель М. Ф. Гидрогеологические основы речной гидротехники.  
Изд. АН СССР, 1950.
7. Сомов Н. В. Асинхронность и цикличность колебаний стока крупных рек СССР. Тр.  
ЦИП, вып. 117, М., 1963.
8. Хмаладзе Г. Н. Взвешенные наносы рек Армянской ССР. Гидрометеониздат. Л., 1964.
9. Гвелесиани Л. Г. и Шмальцель Н. П. (тезисы доклада). Деформация русел и водохра-  
нилищ на горных реках. Тезисы Всесоюзн. координац. совещания по проблеме  
двухфазной жидкости и регулированию движения наносов в бьефах. Л., 1965.