

УДК 556—512

М. С. ТОРГОМЯН, Б. П. МНАЦАКАНЯН

К ВОПРОСУ СОСТАВЛЕНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ ПРИТОКОВ ГОРНЫХ РЕК (на примере бассейна р. Воротан)

За последнее время воднобалансовые исследования и расчеты получили значительный размах, особенно по большим речным водосборам [1, 2]. Они имеют как научно-методическое, так и практическое значения. Установление величины отдельных элементов водного баланса (осадки, испарение, сток) позволяют выявить не только их взаимосвязь и соотношение, но и природу их образования.

Наличие среднесноголетних водных балансов позволяет далее рассчитывать водные балансы за отдельные годы, сезоны и месяцы и произвести оценку ожидаемого изменения в ту или другую сторону воднобалансовых соотношений в результате планового осуществления хозяйственных мер в каждом отдельном водосборе и по основной реке. Важное значение имеет при этом выяснение величин местного стока, уходящего из малого бассейна в основную реку, т. е. направление подземного стока и степень водообмена между отдельными участками водосбора, а также роль отдельных притоков в формировании стока по основной реке.

Так как в горных условиях каждая главная река состоит из многочисленных малых притоков, имеющих самое разнообразное условие формирования воднобалансовых соотношений, то изучение водных балансов этих притоков дает возможность оценить их отдельные составляющие и установить взаимосвязь между ними по общему водосбору. Водный баланс по отдельным речным бассейнам дает представление также о формировании стока в различных частях водосбора, особенно, для малых неизученных водосборов и возможность более точного определения водных балансов по замыкающим створам.

Объектом для исследования водных балансов малых водосборов был принят бассейн р. Воротан—одного из наиболее крупных левых притоков р. Аракс, расположенного в юго-восточной части республики. Этот бассейн имеет почти все разнообразие климатических, гидрогеологических, почвенно-растительных и др. особенностей, наблюдающихся и в остальных речных бассейнах по р. Аракс.

Площади выбранных 35 малых водосборов по р. Воротан колеблются для 12 водосборов до 30 кв. км, для 9 водосборов—30—50 кв. км, для 8 водосборов—50—100 кв. км, для 5 водосборов—100—200 кв. км, 1—более 300 кв. км.

Средневзвешенная высота рассматриваемых водосборов колеблется от 1500 до 2810 м, густота речной сети также меняется в больших пределах—от 0,17 до 1,45 км/км². Лесистость в водосборном бассейне распро-

странена неравномерно, наибольшую лесистость имеет бассейн р. Татев (11% от общей площади). В некоторых бассейнах она изменяется от 1 до 6%, а в остальных бассейнах она вовсе отсутствует. Распаханность в водосборах колеблется в широких пределах—от 5 до 25% от общей территории водосбора. Указанное разнообразие изменения основных характеристик учитывается при оценке их влияния как на величину речного стока, так и на остальные элементы водного баланса.

Для воднобалансовых расчетов большое значение имеют также почвенно-растительные особенности исследуемого объекта. Наибольшее распространение в бассейне р. Воротан имеют горно-луговые почвы (верховье р. Воротан с притоками Далигет, Арыглыгет, отчасти р. Сиснан и др.). В нижних участках бассейна р. Сиснан (в районе г. Сиснан) распространены горные черноземы, а в нижних частях бассейна р. Воротан—горно-лесные почвы. Растительность бассейна р. Воротан преимущественно луговая, в районе г. Сиснан имеется степная растительность, в нижнем течении бассейна распространена лесная зона. Лес в основном состоит из деревьев дуба, бука и граба. Менее распространены грабник, сосна, ясень, клен, ильм и др.

На основе детального анализа картографических и гидрографических материалов с учетом приведенных выше местных физико-географических и других особенностей водосборных бассейнов притоков р. Воротан в пределах Армянской ССР выделены 12 характерных областей формирования воднобалансовых соотношений и по ним составлены все необходимые показатели (табл. 1).

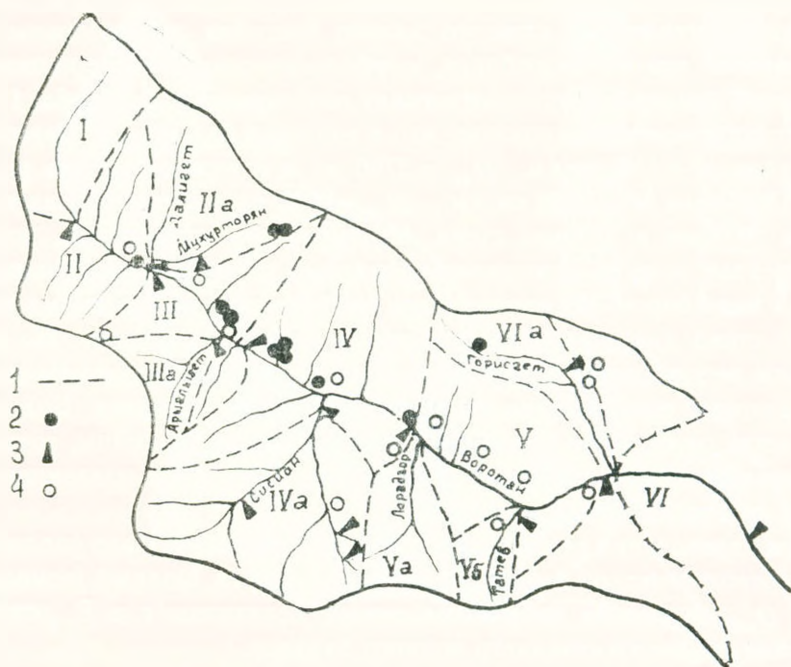
При обосновании самостоятельных областей питания стоком проведен также специальный анализ по гидрогеологическим особенностям рассматриваемого бассейна с точки зрения инфильтрационных способностей пород, расположенных на вулканическом нагорье. В бассейне р. Воротан большое распространение имеют сильнопроницаемые породы (вся левобережная часть водосбора, начиная от притока Далигет до впадения р. Горисгет), что способствует интенсивной инфильтрации атмосферных осадков. По данным работы [3], в бассейне р. Воротан потоки подземных вод связаны с обширным (935 кв. км) лавовым покровом Карабахского нагорья, где средний суммарный дебит 225 родников равен $5,63 \text{ м}^3/\text{сек}$, а средний модуль глубокого стока здесь составляет около $6,5 \text{ л}/\text{сек км}^2$. Эти инфильтрационные воды выходят в средних и нижних течениях рек в виде мощных родников (Базарчайские, Ангехакотские, Шакийские, Сиснанские, Зерзерские группы и др.), дренируются реками и в нижнем створе (с. Кубатлы) имеется совпадение модуля полного и речного стока.

В результате учета всего комплекса факторов, влияющих на формирование различных видов стоков, составлена схематическая карта гидрографической сети бассейна р. Воротан с указанием выделенных областей, мест выхода крупных родников, створов гидрометрических наблюдений и пунктов измерения атмосферных осадков (фиг. 1).

Таблица 1

Показатели областей формирования водного баланса бассейна р. Воротан

Область	Площадь, кв. км				H _{ср} м	t°/оо	Распахан- ность - %	Заселен- ность % _о	Густота речной сети	Число притоков	Гидрогеологическая характеристика пород
	водосбо- ра	стокообразующего		бессточ- ного							
		речного	подзем- ного								
I	150	115	20	15	2760	183	5	—	0,74	1	водообильные
II	221	201	0	20	2525	250	2	—	0,71	5	слабоводоносные, пестрые
II, а	136	91	40	5	2780	127	10	—	0,63	1	водообильные
III	188	50	113	25	2250	186	41	—	0,32	3	водообильные, средневодообильные
III, а	92	88	0	4	2310	224	25	1	0,75	2	слабоводоносные
IV	383	65	275	43	2280	220	10	—	0,27	7	средневодообильные, водообильные
IV, а	380	315	40	25	2300	297	10	1	0,85	7	слабоводоносные, слабоводопроницаемые
V	268	25	198	45	2300	190	13	—	0,15	1	средневодообильные
V, а	118	110	0	8	2320	438	15	4	0,94	2	слабоводоносные, слабоводопроницаемые
V, б	84	79	0	5	2140	404	20	11	1,02	2	слабоводоносные, пестрые
VI	215	67	33	115	1550	210	15	—	0,31	3	слабоводоносные, слабоводопроницаемые
VI, а	85	60	20	5	2180	324	20	5	0,57	1	средневодообильные
Итого	2320	1266	739	315	2190	—	—	—	—	35	



Фиг. 1. Схематическая карта гидрографической сети бассейна р. Воротан. 1—выделенные области, 2—места выходов крупных родников, 3—створы гидрометрического наблюдения, 4—пункты измерения осадков.

Необходимо отметить, что бассейн р. Воротан отличается достаточной полнотой данных по изученности стоков, осадков и испарения. Кроме того здесь естественные условия формирования водного баланса незначительно нарушены хозяйственной деятельностью и, следовательно, увязку между отдельными элементами этого баланса можно осуществить сравнительно объективно.

В работе проанализирована также густота речной сети. Как известно, она с некоторым приближением характеризует гидрогеологическую особенность водосборов. Так, если в правобережных притоках рр. Арыглыгет, Сиснан, Лорадзор, Татев и др., находящихся в зоне слабопроницаемых пород, коэффициент густоты речной сети меняется в пределах $0,8\text{--}1,4\text{ км/км}^2$, то в бассейнах левых притоков р. Воротан, расположенных в зоне сильнопроницаемых пород, величина этого коэффициента находится в основном в пределах $0,17\text{--}0,30$ и в редких случаях доходит до $0,5\text{ км/км}^2$.

При установлении структуры водного баланса малых водосборов некоторой трудностью является определение речного стока неизученных притоков. Для оценки полного (зонального) стока, в том числе и речного стока, водосборов здесь использованы различные подходы и способы. В частности, использован учет баланса стоков и изменение их величины для разных створов средних рек путем увязки стоков по главной реке. В работе использованы возможности баланса вод, с проверкой данных по

речному стоку от верхних изученных створов до нижних створов и наоборот. Одновременно для каждого малого бассейна использованы средневзвешенная высота водосборов, морфологические характеристики, растительный покров, гидрогеологическая особенность и др. (табл. 1).

Исследованием установлено, что в верховье бассейна р. Воротан—с. Кошабулах ($F=150$ кв. км., $H_{\text{ср}}=2760$ м) и в нижнем створе р. Воротан—с. Кубатлы ($F=2320$ кв. км., $H_{\text{ср}}=2190$ м) имеется совпадение величины полного и речного стока. Учитывая эту особенность, построен график связи модуля естественного полного стока с средневзвешенной высотой водосборов. На основе этого графика определена норма модуля полного стока для остальных створов и малых притоков. По рекам, имеющим несовпадение поверхностного и подземного водоразделов, точки по-разному расположены от расчетной линии графика. Водосборы, где имеется отток воды подземным путем в другие бассейны, точки расположены левее от этой линии и, наоборот, при случае подземного притока из другого бассейна в данный.

При определении речного стока большое внимание было уделено также гидрогеологической характеристике водосборов. Полный (зональный) сток ($Q_{\text{пол}}$) определен по установленным величинам r и E , используя уравнение среднегогодового водного баланса.

$$\overline{Q}_{\text{пол}} = \overline{r} - \overline{E}. \quad (1)$$

Здесь $\overline{r}$ — атмосферные осадки, $\overline{E}$ — суммарное испарение, а $\overline{r} - \overline{E}$ — представляет сумму поверхностного, подземного и глубокого стока:

$$\overline{r} - \overline{E} = \overline{Q}_{\text{пов}} + \overline{Q}_{\text{пол}} + \overline{Q}_{\text{гл}}. \quad (2)$$

Глубокий сток, в свою очередь, определяется

$$\overline{Q}_{\text{гл}} = \overline{Q}_{\text{пол}} - \overline{Q}_{\text{реч}}, \quad (3)$$

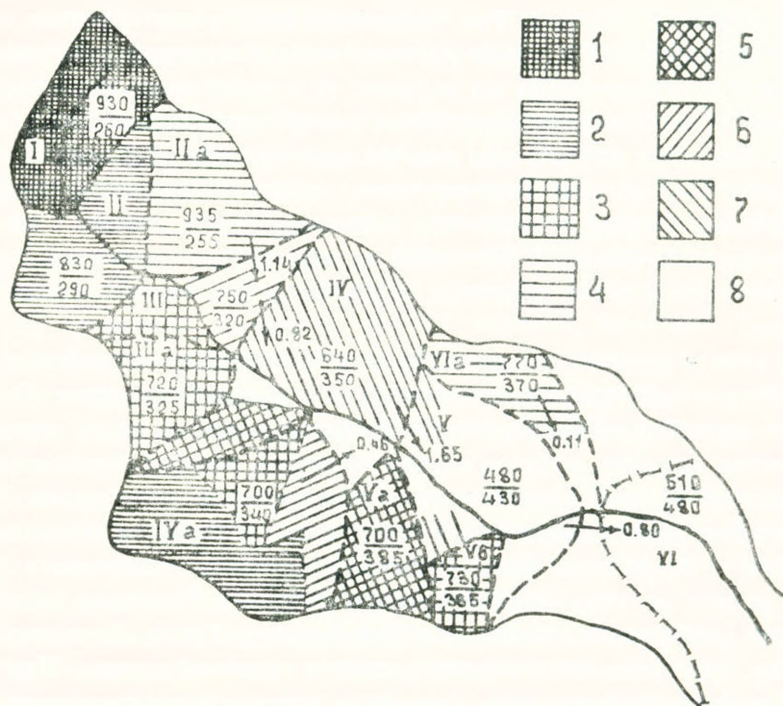
где $\overline{Q}_{\text{реч}}$ — речной сток.

При определении элементов, выраженных формулами 1—3, по возможности учитывались те характеристики, которые больше влияют на величину того или иного элемента.

Гидрогеологическая особенность бассейна в некоторой степени характеризует также и коэффициент речного стока. Для одной и той же высоты водосбора, но для разных гидрогеологических районов коэффициент среднегогодового годового речного стока меняется в больших пределах—от 0,40 до 0,70 для бассейнов правого берега и 0,10—0,25 для притоков левого берега. Территориальное распределение коэффициента среднегогодового годового речного стока для малых притоков р. Воротан приведено на фиг. 2.

По выражению (1) можно провести балансовую оценку водных ресурсов для отдельных изученных притоков, пользуясь уравнением

$$\overline{Q}_{\text{пол}} = \overline{Q}_{\text{реч}} + \overline{Q}_{\text{гл}}. \quad (4)$$



Фиг. 2. Карта коэффициента среднегогодового стока притоков р. Воротан. $\frac{935}{55}$ — в числителе осадки, в знаменателе испарение, $\rightarrow 1,65$ отток с данного водосбора подземным путем в м/сек, 1—при коэффициенте 0,8—0,7; 2—0,7—0,6; 3—0,6—0,5; 4—0,5—0,4; 5—0,4—0,3; 6—0,3—0,2; 7—0,2—0,1; 8—0,1—0,0.

Здесь довольно точно определяется $\bar{Q}_{\text{реч}}$, т. к. точность этого элемента обеспечивается наличием довольно густой сети гидрометрических станций и постов (более 15) [4]. По уравнению баланса вод (3) вычислена глубокая инфильтрация ($\bar{Q}_{\text{гл}}$), которая в пределах бассейна р. Воротан (левобережная часть бассейна) имеет большое значение.

Для выявления структуры баланса вод и взаимосвязи между поверхностными и подземными стоками проведено расчленение гидрографа по обычной методике. Учитывая особенности бассейна р. Воротан, речной сток разделен на поверхностный и подземный составляющие. Полученное при этом значение подземного составляющего контролировано дебитом родников, выходящим в пределах водосборного бассейна и гидравлически не связанным с рекой.

Атмосферным осадкам (приходной части водного баланса) уделено большое внимание, используя карту осадков, приведенную в работе [4] с учетом всех видов поправок. Непосредственно в бассейне р. Воротан атмосферные осадки измерялись в 14 пунктах (на каждый 60 кв. км территории приходится один осадкомер). В рассматриваемом бассейне проявляется связь между количеством осадков и высотой местности. С увеличением отметки местности осадки, как правило, возрастают. Однако в зависимости от закрытости территории горными хребтами наблюдается

также обратная картина. Так, например, если в гор. Сисиане, находящемся на высоте 1580 м над уровнем моря (закрытый участок), выпадает за год в среднем 356 мм осадков, то в гор. Горисе (участок открытый для проникновения воздушных масс), находящемся на высоте 1396 м, выпадает почти в два раза больше осадков (705 мм).

Восточные склоны Зангезурского хребта подвержены вторжению влагоносных масс и поэтому основная часть влаги здесь задерживается на высоте 1500—1600 м, что является основной причиной увеличения слоя стока притоков, расположенных на нижних течениях р. Воротан.

В работе сделана попытка оценить ту величину атмосферных осадков, которая непосредственно участвует в стокообразовании. Очевидно, что при воднобалансовых расчетах большое значение имеет определение количества осадков, которое перехватывается растительностью и потом расходуется на так называемое «непродуктивное испарение». Используя литературные данные [1] и некоторые наблюдения, проведенные в бассейне р. Мармарик, было установлено, что эта величина в годовом цикле может достичь чувствительного значения. Величина задержания осадков наибольшая, особенно в бассейнах рр. Татев, Лорадзор, Горисгет и др., где кроме леса хорошо развит и травяной покров. При составлении водного баланса этих бассейнов учтены величины задержанных осадков.

Общая картина распределения слоя весеннего стока бассейна р. Воротан в основном соответствует распределению нормы сезонных (зимних и весенних) сумм атмосферных осадков, величина которых меняется в больших пределах. Доля же твердых осадков от общего в бассейнах р. Воротан меняется от 0,56 в верховьях до 0,15 в нижних участках водосбора. В бассейне р. Сисиан образуются значительные запасы снега, чем собственно и объясняется более высокий слой весеннего стока (около 450 мм) по сравнению с соседними речными водосборами.

Притоки р. Воротан имеют смешанное питание, т. е. снеговое, подземное и дождевое. Их соотношение для отдельных притоков резко меняется. Правобережная часть бассейна р. Воротан, где склоны гор сложены слабопроницаемыми породами, талые и дождевые воды стекают преимущественно по поверхности бассейна, менее обильна подземными водами. В период половодья здесь проходит 65—75% общего годового объема стока.

На долю подземного стока в бассейн р. Воротан приходится 30—50% общего стока, однако многие притоки р. Воротан питаются почти исключительно за счет подземных вод, как р. Шакигет. Приток р. Далигет, ручей Мухурторян также питается подземными водами; здесь выделяется группа родников, суммарный дебит которых составляет около 0,5 м³/сек.

На притоках р. Воротан в летний период года наблюдаются также селевые потоки. Возникновению их благоприятствуют крутизна склонов, лишенных растительного покрова, наличие обломочного материала и

т. д. Сели наблюдаются особенно в левой части бассейна р. Воротан, среднеактивным бассейном является р. Сисиан, а в остальных бассейнах сели наблюдаются очень редко.

Суммарное испарение с речных водосборов было рассчитано по предложенным методам, приведенным в работе [2]. Однако для отдельных водосборов эта методика не дает удовлетворительных результатов, поэтому и были учтены индивидуальные особенности каждого бассейна, используя также воднобалансовые соотношения. При определении суммарного испарения некоторое внимание уделено также ориентации водосборных бассейнов. Известно, что на склонах, имеющих южную ориентацию, испарение на 40—60% больше, чем на склонах, имеющих северную ориентацию. Количество суммарного испарения в бассейнах рр. Лорадзор, Татев и Горисгет увеличено на 10—15%, учитывая и задержанные осадки, идущие на испарение.

Интенсивная трещиноватость лав, пологий рельеф, мощные чингили, расположенные в левобережной части бассейна р. Воротан, обуславливают значительную инфильтрацию атмосферных осадков и поверхностных вод, а также увеличение суммарного испарения.

Путем применения принятых методических подходов к данной работе по каждому малому водосбору, приустьевым участкам, областям, замыкающим створам определены все основные элементы водного баланса. По некоторым притокам, расположенным в верхнем течении р. Воротан, результаты расчетов даны в табл. 2.

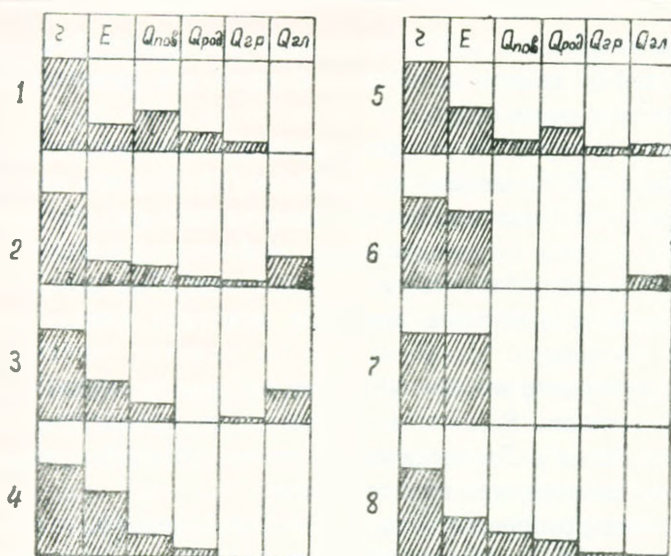
Структура водного баланса ввиду вышеупомянутых особенностей климата, рельефа, гидрогеологической характеристики, почвенного и растительного покрова меняется в больших пределах.

В верховьях бассейна (р. Воротан—с. Кошабулах, $H_{\text{ср}} = 2760 \text{ м}$) коэффициент испарения (E/g) равен 0,28, коэффициент стока (Q/g)—0,72. Глубоководный водообмен между соседними водосборами отсутствует. В речном стоке 60% составляет поверхностный сток, 75% подземного стока состоят из родниковых вод.

Бассейн р. Далигет (р. Далигет—с. Борисовка, $F = 136 \text{ кв. км}$) расположен в районе сильнопроницаемых пород, где структура водного баланса имеет следующие особенности: коэффициент испарения составляет 0,27, коэффициент стока—0,44, а 29% из выпадающих атмосферных осадков идут на глубокую инфильтрацию. В зоне слабопроницаемых пород (бассейны рр. Арыглыгет, Сисиан) поверхностный сток преобладает над подземным стоком и составляет соответственно 87 и 76% от речного стока.

На фиг. 3 графическим путем приведены крайние структуры водного баланса притоков р. Воротан, которые еще раз подтверждают большое разнообразие характера питания стоком притоков р. Воротан, с дальнейшей детализацией-подземного стока на родниковый ($Q_{\text{род}}$) и грунтовый ($Q_{\text{г}}$).

При исследовании установлено также, что в бассейне р. Воротан стокообразующей площадью речного стока является 1266 кв. км или



Фиг. 3. Структуры характерных водных балансов притоков р. Воротан. 1—водосбор без глубокого стока; 2—с высоким глубоким стоком; 3—без родникового стока; 4—без подземного стока; 5—с высоким родниковым стоком; 6—без речного стока; 7—бессточная площадь; 8—водосборы на основной реке.

Таблица 2

Водный баланс некоторых водосборов малых притоков р. Воротан

Река—створ	F км ²	H _{ср} м	Элементы баланса в мм				
			$\bar{r}$	$\bar{E}$	Q _{под}	Q _{реч}	Q _{гл}
Воротан — с. Кошабулах	150	2760	930	260	670	670	0
Султанлу — устье	55,9	2550	830	290	540	540	0
Гурчай — устье	24,0	2550	830	290	540	540	0
Сандухлу — устье	48,4	2525	815	295	520	520	0
Мадан — устье	26,0	2550	830	290	540	540	0
Мухурторян — с. Сарнакунк	46,3	2810	950	245	705	395	310
Далигет — с. Борисовка	136	2780	935	255	680	415	265
Аздабак — устье	33,0	2500	800	300	500	500	0
Приустьевые участки	34,0	2100	600	400	200	50	150
Сарнакунк — устье	13,7	2150	625	365	260	70	190
Без названия — устье	76,0	2400	750	320	430	165	265
Без названия — устье	61,7	2050	580	385	195	135	60
Арыглыгет — с. Шарат	92,0	2310	720	325	295	295	0
Шагат — устье	25,6	2250	680	350	335	335	0
Приустьевые участки	59,0	2000	550	450	100	35	65

55% общей площади, только подземный сток образуется на площади 739 кв. км или 32%, а 315 кв. км или 13% является бессточной областью.

Приведенные выше результаты исследования структуры среднегодового водного баланса малых водосборов позволяют на конкретном материале раскрыть гидрогеологические особенности горных территорий, что может иметь также определенное методическое значение вообще.

Ա. Ս. ԲՈՐԳՈՍՅԱՆ, Բ. Պ. ՄՆԱՑԱԿՍՅԱՆ

ԼՅՈՆԱՅԻՆ ԳԵՏԵՐԻ ՓՈՔՐ ՎՏԱԿՆԵՐԻ ՋՐԱՄԲԱՐՄԱՆ ՋՐԱՅԻՆ
ՀԱՇՎԵԿՇՈՒ ԿԱԶՄՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՁԸ (ՈՐՈՍԱՆ ԳԵՍԻ
ՋՐԱՎԱԳԱՆԻՕՐԻՆԱԿՈՎ)

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում գետային ջրավազանների ջրային հաշվեկշռի տարրերի մանրամասն անալիզի հիման վրա, հաշվի առնելով տեղական ֆիզիկա-աշխարհադրական պայմանները, ստացված է այդ տարրերի փոխադարձ կապը: Կիրառելով ջրային հաշվեկշռի հավասարումը և միաժամանակ ստուգելով գումարային հոսքի պահպանումն ըստ ստորգետնյա, վերգետնյա և խորքային բաղադրիչների, հնարավորություն է ստեղծված բոլոր փոքր ջրավազանների համար կազմելու հաշվեկշռային հարաբերությունները և նրանց ստրուկտուրաները: Բերված մեթոդով հնարավոր է կատարել ջրային հաշվեկշռի հաշվարկներ այլ գետավազանների համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Булавко А. Г. Водный баланс речных водосборов. Гидрометеониздат, 1971.
2. Влаго- и теплообмен над водоемами и сушей в горных условиях. Под ред. А. М. Мхитаряна, Труды ЗаКНИГМИ, вып. 29 (35). Гидрометеониздат, 1969.
3. Гидрогеология СССР, том XI, Армянская ССР, под редакцией А. А. Тер-Мартirosяна, «Недра», 1968.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Под ред. А. П. Муранова, том. 9, вып. 2, Бассейн р. Аракс. Гидрометеониздат, 1973.