

География

УДК 551.58

Т. Г. ВАРДАНЯН

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО СТОКА РЕК

В работе представлены и проанализированы особенности методов расчета восстановления естественного стока рек, а также имеющиеся в них недостатки. Предложен новый метод математической статистики, который от традиционного метода суммирования водозаборов отличается надежностью и сравнительно высокой точностью.

Введение. Человек посредством своей практической деятельности преобразует природную среду, оказывает влияние на все элементы ландшафта, в том числе и на естественный сток рек. Сегодня меженный сток рек с количественной точки зрения настолько нарушен, что уже почти забыто о естественном стоке рек. Не известно, сколько воды берется из рек и какая ее часть снова возвращается в речной бассейн. Имеющиеся данные крайне приблизительны, а в отдельных случаях – недостоверны.

Расчет восстановления естественного стока рек необходим для объективной оценки возобновляемых водных ресурсов территории, их изменчивости, а также для определения техногенного изменения стока воды [1, 2]. Без проведения такой операции невозможно интерпретировать современные особенности водного режима рек, прогнозировать степень изменения водных ресурсов при ожидаемом потеплении климата. Отсутствие данных о естественной водности рек препятствует надежному обеспечению водой потребителей, решению задач для смягчения ожидаемого дефицита водных ресурсов и устойчивого развития хозяйства страны [3, 4].

Антропогенное влияние на объем, режим и качество водных ресурсов максимально проявляется в меженный период [3, 5–7], когда водность рек минимальна. Это приводит к увеличению риска перебоев в снабжении водой населения и хозяйства. Объем водопотребления достигает максимума в этот же период, т.к. начинается орошение полей [6]. В это время года возможно несоответствие потребности в воде и водности рек (с учетом необходимости сохранения гидробионтов). Сезонное уменьшение водности рек – фактор потенциального снижения разбавляющей и самоочищающей способности водотоков [8].

Для объективного анализа многолетней изменчивости стока необходимо иметь информацию, соответствующую естественным условиям. Ее получение затруднено проблемами достоверности водохозяйственных сведений [9]. Наиболее достоверными являются водохозяйственные данные европейских стран, Северной Америки и бывшего СССР [10–13].

Материалы и методы. В качестве исходных материалов в данной работе использованы результаты гидрометеорологических наблюдений, проведенных Армгидрометом, другими ведомственными организациями страны, климатические и гидрологические атласы, а также материалы собственных полевых исследований на разных реках Армении в 1998–2003 гг.

Для осуществления работы были применены эмпирико-статистические и генетические теоретические модели, методы математического статистического анализа, регрессии, биномиального распределения, географической интерполяции, полевых экспедиционных наблюдений и др.

Для расчета восстановления естественного стока на примере рек Армении использованы два подхода: стандартный метод учета суммарного забора воды [13] и разработанный автором статистический метод.

Первый метод в настоящее время считается основным. Суть его состоит в том, что объем забора воды из рек для покрытия различных потребностей корректируется с учетом процента безвозвратных потерь и добавляется к фактическому стоку рек. Процент безвозвратных потерь зависит от вида водопользования, климатических, социально-экономических условий ведения водного хозяйства, технического состояния водопроводных сетей, ирригационных систем и т.п. [14–17]. Например, доля безвозвратных потерь воды при орошении в среднем составляет 55–80%, в коммунальном хозяйстве – 10–30%, в промышленности – 4–15%. При анализе ситуации в различных странах выявляется высокая дифференциация процента этих потерь. В частности в Армении они выше мировых показателей. При орошении в среднем безвозвратно утрачивается 80–90%, а в промышленности и коммунальном хозяйстве – 20–30% используемой воды [13].

Полученные результаты и обсуждения. Анализ результатов применения метода суммарного учета забора воды для рек Армении показал, что он дает недостоверные оценки [18]. Это связано с тем, что велики погрешности учета величины водозабора. Для отдельных рек может вообще отсутствовать водохозяйственная информация. Существуют также погрешности определения возвратных вод, т.к. плохо контролируются потери стока. Погрешности существующей системы накопления водохозяйственной информации максимально характеризуют выполненные исследования в верхнем течении р. Аргичи (а также в ее притоках Карадзи, Чингил и Цахкашен). Весенние и летне-осенние полевые наблюдения (измерения расходов воды выше и ниже водозаборов) позволили точно определить изменение водности рек вследствие водозабора. Сравнение полученных оценок с декларированным объемом водозабора дало их несовпадение на 40–50%, т.е. забирается воды гораздо больше. По-видимому, для других рек Армении ситуация такая же.

В этих условиях предпочтительнее использование статистических приемов расчета восстановления естественного стока. Метод традиционного суммирования водозаборов целесообразно применять в тех случаях, когда

снижена эффективность статистических приемов.

Статистические методы основываются на методах математической статистики, корреляционного анализа, гидрологической аналогии. Процедура расчета восстановления естественного стока включает: выбор реки-аналога с естественным стоком и обоснование корреляционного уравнения, связывающего расходы этой реки и реки, сток которой необходимо восстановить. Для этого используется часть наблюдений в период, когда хозяйственная деятельность в бассейнах рек отсутствовала или ее влияние на сток было незначительным. В последующие годы, когда влиянием техногенных нагрузок нельзя было пренебречь, разница между наблюдаемым фактическим и восстановленным стоками количественно характеризовала последствия водопотребления.

При отсутствии надежного аналога обосновывается связь между многолетним среднегодовым расходом и расходом воды за определенный месяц многоводного сезона года для одной и той же реки. Эта связь достаточно достоверна для условий горных стран с сухим резко континентальным климатом. Для рек таких стран преобладающая часть стока (60–70%) приходится на сезон половодья. Метод дает хорошие результаты для условий, когда роль основных водопользователей в многоводный период года близка к нулю, а сток рек можно считать естественным. Если основной объем водопотребления приходится на промышленные предприятия или коммунальное хозяйство, то этот прием может приводить к ошибкам в расчете восстановления естественного стока.

Аналогичным образом можно восстановить летне-осенний меженный сток. Для этого необходимо обосновать его связь с зимним меженным стоком рек, который мало подвержен антропогенному изменению, а его гидрологический режим близок к естественному фону [6].

При использовании данного метода ряд многолетних наблюдений за изменением стока воды делится на две части. Первая часть заканчивается годом, после которого начинается вторая часть ряда, когда нарушаются естественные условия формирования стока и возникают безвозвратные потери. Для определения этого года производится анализ ряда наблюдений за стоком воды (расходом, слоем стока). Все члены этого ряда последовательно суммируются друг с другом: $\Sigma Q_i = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_m$, где Q_i – расход воды за год, m – число членов ряда. График связи между нарастающей суммой фактических расходов и расходом воды за каждый последующий год в естественных условиях формирования стока носит прямолинейный характер (рис. 1, а), а линия тренда расхода воды реки за тот же период остается почти неизменной (рис. 2).

Для обоснования вышеотмеченного приведем соответствующий пример. Принимая во внимание факт, что данные водозаборов рек не являются достоверными или же вовсе отсутствуют, для проверки степени достоверности метода возьмем ряд случайных величин расходов воды (1956–1975), в котором водозаборы нами заранее условно выделены (см таблицу).

При нарушении естественного стока возникает отклонение линии (рис. 1, б) от прямой. В этом случае существуют изменения тренда средних расходов воды (рис. 3). Дата начала такого отклонения 1956 г. (точка О) является началом периода искаженного стока (рис. 1). Участок до точки О при этом

будет соответствовать нарастающей сумме восстановленного (естественного) расхода воды. Отклонение характеризует объем безвозвратных потерь стока и степень его искажения под влиянием хозяйственной деятельности.

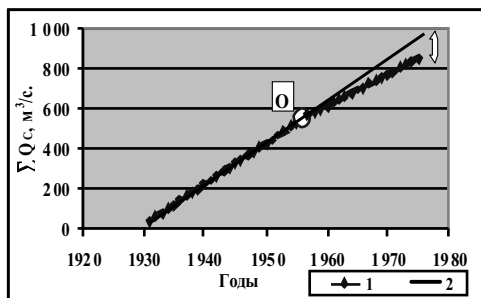


Рис. 1. Изменение во времени нарастающей суммы естественных (а) и измененных (б) расходов воды.

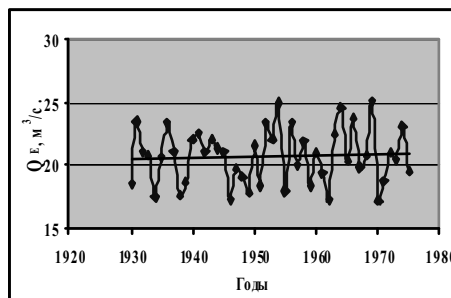


Рис. 2. Тренд изменения средних годовых расходов воды при отсутствии антропогенных факторов.

При выявлении периода с естественными условиями формирования расходов воды и даты возникновения антропогенного искажения легко получить их корреляционную связь (рис. 4). На этой основе восстанавливается нарушенный (измененный) расход воды реки.

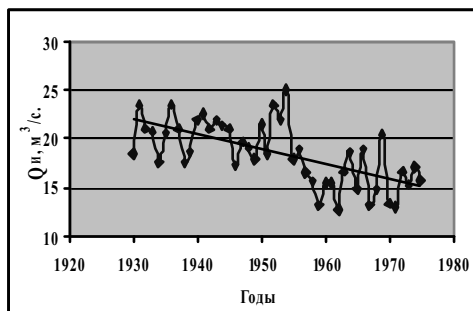


Рис. 3. Тренд антропогенного изменения средних годовых расходов воды.

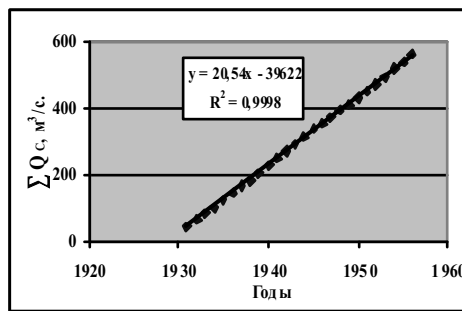


Рис. 4. Связь изменения нарастающих сумм естественных расходов и периодов времени.

Отклонения между естественными и восстановленными расходами воды дают представления о степени изменения процесса формирования стока.

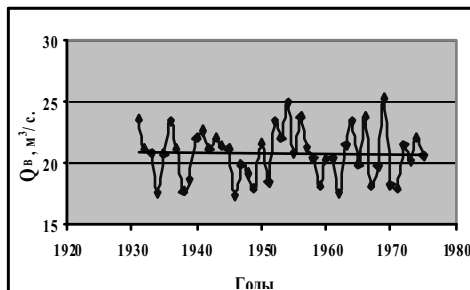


Рис. 5. Изменчивость и тренд восстановленных средних годовых расходов воды

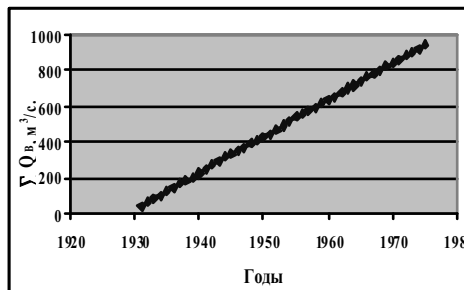


Рис. 6. Изменение нарастающей суммы восстановленных расходов воды.

Из таблицы видно, что среднее квадратичное отклонение разницы восстановленного и естественного стока составляет $1,02 \text{ м}^3/\text{с}$ или 4,74%. Следовательно, она достаточно достоверна. Это подтверждает также линия тренда восстановленного стока (рис. 5) и нарастающей суммы расходов воды (рис. 6).

Масштабы изменения стока воды под влиянием антропогенных факторов

Год	Естественный сток, $Q_E, \text{м}^3/\text{с}$	Измененный сток, $Q_H, \text{м}^3/\text{с}$	Восстановленный сток, $Q_B, \text{м}^3/\text{с}$	Отклонение восстановленного стока от естественного	
				$Q_E - Q_B, \text{м}^3/\text{с}$	%
1956	23,45	18,95	23,77	-0,32	-1,36
1957	19,98	16,48	21,30	-1,32	-6,61
1958	21,96	15,56	20,38	1,58	7,20
1959	18,40	13,20	18,02	0,38	2,07
1960	21,01	15,41	20,23	0,78	3,71
1961	19,43	15,53	20,35	-0,92	-4,73
1962	17,32	12,72	17,54	-0,22	-1,27
1963	22,51	16,71	21,53	0,98	4,35
1964	24,67	18,57	23,39	1,28	5,19
1965	20,32	14,92	19,74	0,58	2,85
1966	23,76	18,96	23,78	-0,02	-0,08
1967	19,93	13,23	18,05	1,88	9,43
1968	20,74	14,84	19,66	1,08	5,21
1969	25,12	20,52	25,34	-0,22	-0,88
1970	17,17	13,37	18,19	-1,02	-5,94
1971	18,74	13,04	17,86	0,88	4,70
1972	21,00	16,67	21,49	-0,49	-2,33
1973	20,47	15,28	20,10	0,37	1,81
1974	23,14	17,19	22,01	1,13	4,88
1975	19,51	15,71	20,53	-1,02	-5,23
Среднее	20,93	15,84	20,66	0,27	1,15
Среднее квадратичное отклонение				1,02	4,74

Погрешности нашего метода могут быть связаны с возможностью нарушения однородности ряда под влиянием изменения природных факторов, влияющих на сток [18, 19]. Для преодоления этого недостатка можно использовать анализ многолетних изменений климатических характеристик (атмосферных осадков и температуры воздуха), гидрогеологических условий и водохозяйственной информации по данному участку реки или речному бассейну.

Статистический метод использован для восстановления естественного стока рек в центральных и южных районах Армении (рр. Азат, Веди, Арпа, Воротан, Вохчи и Мегригет). Метод суммирования водозаборов применен для остальных рек страны. Анализ полученных рядов позволяет провести исследование закономерностей природного и техногенного изменения сезонного и годового стоков воды на территории Армении.

Таким образом, полученные нами результаты показали, что статистический метод расчета восстановления естественного стока рек более достоверен, чем стандартный метод учета суммарного забора воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Варданян Т.Г.** О некоторых вопросах восстановления естественного стока рек. Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 3. Водный баланс, ресурсы поверхностных и подземных вод, гидрологические последствия хозяйственной деятельности и изменений климата; уязвимость и адаптация социально-экономической сферы. 2004, с. 151–153.
2. **Vardanian T.G.** The Anthropogenic Changes of Water Resources in the Republic of Armenia in XX Century. In: Lucrarile Seminarului Geografic Dimitrie Cantemir 100 de Ani de Invatamant Geografic Iesean. NR.25, Lasi, Romania, 2005, p. 195–202.
3. **Брегвадзе Г., Григолия Г.Л., Кереселидзе Д.Н.** Влияние глобального потепления климата на режим стока некоторых рек Грузии. В кн.: Рациональное использование и охрана водных ресурсов в изменяющейся окружающей среде. Т. 2 (под ред. Т.Г. Варданяна и Э. Джонса). Ер.: Изд-во ЕГУ, 2004, с. 161–166.
4. **Vardanian T.G., Grigolia G.L., Kereselidze D.N., Mamedov M.A.** On Some Issues of the Rational Use and Conservation of Water Resources in South Caucasus. In: The Rational Use and Conservation of Water Resources in a Changing Environment. V. 1. Yerevan: Yerevan State University Press, 2004, p. 229–234.
5. **Vardanian T.G.** The Role of River Runoff in Landscape Protection Under the Conditions of the Global Changes of Climate. Proceedings of the International Geographical Conference «CONGEO'01 on Nature and Society in Regional Context», Brno, Chekhia, 2001, p. 156–159.
6. **Варданян Т.Г.** Минимальный сток рек Республики Армения и его расчет. Автореферат дисс. на соискание уч. степ. канд. географ. наук. Ер., 1995, 26 с.
7. **Vardanian T.G.** The Dynamics of Changes in the Runoff of Rivers in Summer-Autumn and Winter Drought Periods. Papers of the International Conference «Water is the Basis of Life and Human Existence». Dushanbe, Tajikistan, 2003, p. 212–213.
8. **Vardanian T.G.** The Qualitative Changes of River Waters and Their Significance in the Emergence of Water Hunger. Proceedings of the Second International Conference on Ecological Chemistry «Advances and Prospects of Ecological Chemistry». Chisinau, Moldova, 2002, p. 167–170.
9. **Зайцева И.С.** Антропогенные воздействия на водные ресурсы континентов. В кн.: Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). М.: Научный мир, 2000, с. 183–194.
10. Atlas of the Environment. London, 1990, 192 p.
11. World Resources 1990–91. № 1. Oxford: University Press, 1990, 385 p.
12. World Resources 1996–97. № 1. Oxford: University Press, 1996, 365 p.
13. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 9, вып. 2, Армения. Л.: Гидрометиздат, 1967, 1975, 1979.
14. **Владимиров А.М.** и др. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1991, 423 с.
15. **Логинов В.Ф.** и др. Современное антропогенное воздействие на водные ресурсы Беларуси. Минск, 2000, 284 с.
16. **Львович М.И.** Вода и жизнь. М.: Мысль, 1987, 325 с.
17. **Шикломанов И.А.** Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометеиздат, 1979, 300 с.
18. **Vardanian T.G.** River Runoff as an Indicator of Global Climate Change. Proceedings of International Conference «Images and Reconstructions of Weather and Climate Over the Last Millenium». Prace Geograficzne, Fascicle 108. Crakow, Poland, 2000, p. 93–98.
19. **Варданян Т.Г.** – Вода и водоочистные технологии. Киев, 2003, № 4, с. 39–42.

Թ. Գ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԳԵՏԵՐԻ ԲՆԱԿԱՆ ՀՈՍՔԻ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՍԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ
ՍԵԹՈՂՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Աշխատանքում ներկայացվել և վերլուծվել են գետերի բնական հոսքի վերականգնման առանձնահատկությունները և դրանցում տեղ գտած

թերությունները: Առաջարկվում է գետերի բնական հոսքի վերականգնման նոր՝ մաթեմատիկական վիճակագրության մեթոդ, որը գետերի ջրառների գումարման ավանդական մեթոդից տարբերվում է իր հուսալիությամբ և բարձր ճշտությամբ:

T. G. VARDANIAN

CALCULATION METHODS OF RESTORATION OF THE NATURAL
RIVER RUNOFF

Summary

The work presents and analyses the distinctive features of restoration of the natural river runoff as well as their deficiencies. It suggests a new, mathematical statistical method of restoration of the natural river runoff, which differs from the traditional method of water intake summation by its reliability and higher accuracy.