

*Ф.А. Иманов, А.Б. Алекперов, А.А. Гулиева*

## **МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ И ОЦЕНКА СТОКА МАЛОВОДНЫХ ПЕРИОДОВ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК МАЛОГО КАВКАЗА**

*F.A. Imanov, A.B. Alakbarov, A.A. Guliyeva*

## **LONG-TERM FLUCTUATION AND ESTIMATION OF LOW FLOW OF TRANSBOUNDARY RIVERS OF MINOR CAUCASUS**

*Выполнен анализ многолетних колебаний стока маловодных периодов основных трансграничных рек Малого Кавказа. Выявлены значимые тренды в многолетней динамике рассмотренных характеристик стока. Установлено, что зимний минимальный и сезонный сток правобережных рек в последнее 30 лет превысили норму, и это происходило за счет весеннего стока. Для рек бассейна Аракса, наоборот, характерно уменьшение минимального и сезонного стока как для зимнего, так и для летне-осеннего периодов. Это, связано развитием антропогенной деятельности в бассейнах этих рек. Осуществлена оценка стока маловодных периодов рек Малого Кавказа.*

*Ключевые слова: трансграничная река, многолетние колебания, маловодный период, подземный сток, минимальный сток, трендовый анализ.*

*The analysis of long-term fluctuations of the river flow during low flow periods of major transboundary rivers of the Minor Caucasus was carried out. The significant trends in the long-term dynamics of the considered flow characteristics were identified. It was established that the minimum winter and seasonal flow of the right bank of the rivers in the past 30 years has exceeded the norm, and it was due to spring flow. On the contrary, for Aras river basin, it is characterized by a decrease in the minimum and seasonal flow for both winter and for summer-autumn periods. This is associated with the development of human activities in these river basins. The estimation of low flow periods of the Minor Caucasus was carried out.*

*Key words: transboundary river, long-term fluctuation, low flow period, underground flow, minimum flow, trend analysis.*

### ***Введение***

Водные ресурсы Азербайджана ограничены и распределены как по территории, так и во времени неравномерно. В последнее десятилетие в результате быстрого роста численности населения и развития орошаемого земледелия увеличиваются водозаборы из рек и подземных водоносных горизонтов. Это приводит к резкому уменьшению водности рек в вегетационный период и нередко их антропогенному пересыханию. Подрусловые воды широко используются для водоснабжения населенных пунктов, а артезианские воды предгорных равнин — для орошения засушливых земель. Повышение температуры воздуха также негативно сказывается на водных ресурсах республики.

## Постановка проблемы

Цель работы — анализ условий формирования подземных вод, обобщение данных о подземном стоке в реки, оценка стока маловодных периодов и тенденций его современных изменений. В данной работе объектами исследования являются трансграничные реки Малого Кавказа — левые притоки р. Аракс и правые притоки р. Кура (рис. 1). Сведения об этих реках приведены в табл. 1.

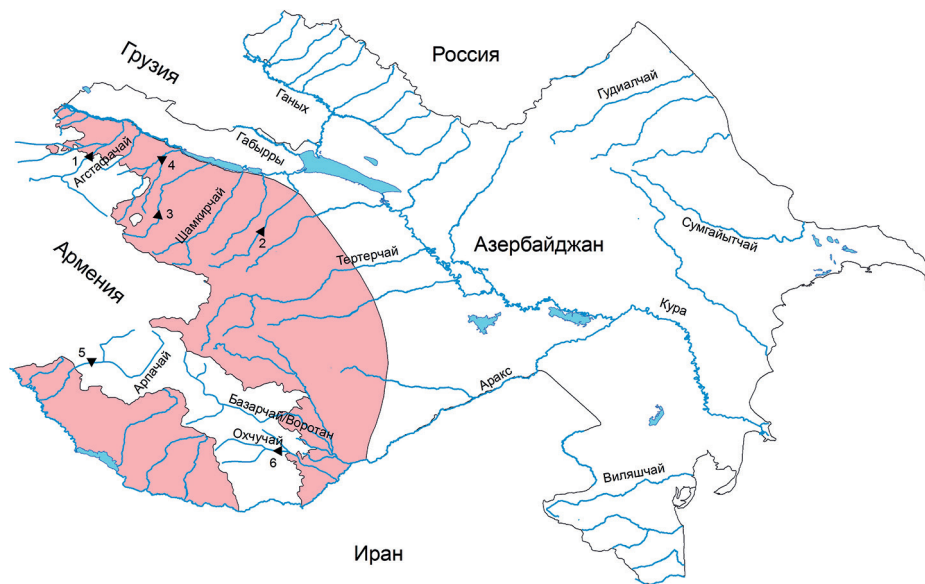


Рис. 1. Карта-схема исследуемой территории (номера гидрологических постов соответствуют номерам в табл. 2)

Водный баланс Азербайджана без учета стока трансграничных рек характеризуется следующими величинами: атмосферные осадки 427 мм, речной сток 119 мм и испарение 308 мм [8]. С учетом стока трансграничных рек на душу населения Азербайджана (на 1 января 2015 г.) приходится 3252 м<sup>3</sup>/год воды. Общие водные ресурсы рек республики составляют 30,9 км<sup>3</sup>, а доля трансграничных рек 20,6 км<sup>3</sup>.

В целом, средний годовой объем стока всех рек Малого Кавказа (в пределах Азербайджана) составляет 6,0 км<sup>3</sup>, из них на долю трансграничного стока приходится 2,2 км<sup>3</sup>, т.е. 37 % [8].

На всех реках Малого Кавказа наблюдаются продолжительные зимние и летне-осенние меженные периоды. Зимняя межень наиболее продолжительна в бассейнах рек Арпа, Акера и др. (120 и более дней). Для этих рек доля зимнего стока в годовом составляет 20–25 %. Летне-осенняя межень наиболее продолжительна в бассейнах рек Акстафачай, Базарчай и Арпачай. Доля летне-осеннего стока этих рек колеблется в пределах 16–22 % [6].

Таблица 1

**Морфометрические и стоковые характеристики  
основных трансграничных рек Малого Кавказа**

№	Река	Устье	Длина, км		Площадь водосбора, км <sup>2</sup>		Расходы воды, м <sup>3</sup> /с		
			общая	в пределах республики	общая	в пределах республики	средний многолетний расход воды	Средне-многолетние минимальные расходы воды	
								зимние	летне-осенние
1	Актафачай (Агстев)	Кура	133	42	2586	976	13,2	2,72	3,44
2	Гасансу (Ахум)	Кура	71	25	352	159	1,75	0,46	0,59
3	Ахынджачай	Таузчай	76	30	1178	657	2,46	0,71	0,99
4	Таузчай	Кура	42	11	278	14	0,67	0,18	0,26
5	Арпачай	Аракс	126	40	2630	570	23,7	7,02	5,89
6	Джагрычай	Нахчыванчай	45	40	442	427	1,02	0,55	0,39
7	Охчучай (Вохчи)	Аракс	83	43	1175	455	10,0	2,55	3,13
8	Базарчай (Воротан)	Аракс	158	65	5650	3630	20,0	10,6	10,0

В меженные периоды, особенно во время зимней межени анализируемые реки питаются почти, исключительно подземными водами.

### *Материалы и методы исследований*

Проблема рассмотрена на примере трансграничных рек Малого Кавказа. Анализ проводился на основании многолетних данных о среднегодовых и среднемесячных расходах воды. Использованы также данные о подземных водах и подземном стоке рек, приводимые в работах [1, 8].

Многолетние колебания стока маловодных периодов исследованы методом линейного тренда и разностными интегральными кривыми [2].

### *Результаты исследований и их обсуждение*

#### **Подземные воды и подземный сток.**

Горная зона Малого Кавказа, характеризуется сильной расчлененностью рельефа, мощной зоной выветривания и трещиноватостью слагающих отложений, связанной с разрывно-тектоническими нарушениями, наличием спорадически развитого мало-мощного делювиального суглинистого чехла и почвенного покрова, речных долин и небольших межгорных котловин [1].

Подземные воды не имеют строгой приуроченности к стратиграфическим горизонтам и встречаются в отложениях от современных до древнейших. Однако степень обводненности различных пород неодинакова и зависит от их состава, трещиноватости и дренированности территории. Наибольшей водообильностью отличаются известняки сильно трещиноватые, а местами закарстованные, менее обводнены вулканогенные породы и совсем слабо-интрузивные образования. Характер распределения родникового стока указывает на радиальное направление подземного стока от центра горной зоны к ее периферии и полностью аналогичен распределению поверхностного стока.

Геолого-гидрогеологические условия территории обуславливает проявления подземных вод в виде восходящих и нисходящих родников.

Многочисленные родники, приуроченные к отложениям от четвертичного до девонского возраста, в горно-складчатой зоне Малого Кавказа, имеют в основном дебит от 0,1–1,0 до 2–3 л/с, доходя иногда до 10 л/с. В Нахчыванской Автономной Республике зафиксированы родники с дебитами 100–150 л/с.

В горных зонах наибольшее хозяйственное значение имеют подземные воды аллювиальных отложений, слагающие поймы рек и выстилающие их русла. Мощность подрусловых отложений в Малом Кавказе меняется от 9–14 до 60–70 м, по рекам Хачинчай, Каркарчай она доходит до 96–106 м. Дебиты скважин варьируют в пределах 3–12 л/с, коэффициенты фильтрации водосодержащих пород — от 5–8 до 50–60 м/сут. Расход подруслового потока составляет 12–40 тыс. м<sup>3</sup>/сут., а по р. Тертер доходит до 62 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

В вулканогенно-туфовых отложениях Малого Кавказа выявлены многочисленные родники с дебитами 8–10 л/с, иногда 50–70 л/с.

Безнапорные и напорные воды вскрыты разведочными и эксплуатационными скважинами глубиной до 250–300 м. Статические уровни безнапорных вод устанавливаются на глубине от 0,1–1,0 до 60–85 м, дебиты скважин 0,1–4,2 л/с. Напорные воды в Малом Кавказе связаны преимущественно с тектоническими нарушениями и трещинами. Дебиты скважин пробуренных на напорные воды меняются в пределах 0,8–12 л/с.

Как известно, сток подземных вод в реки является важнейшим компонентом водного баланса речных бассейнов и их водных ресурсов.

Количественным показателем роли подземных вод в формировании речного стока является коэффициент подземного питания реки. Этот коэффициент характеризует величину базисного стока реки, равномерность его распределения внутри года и возможность более эффективного использования речного стока в различных отраслях экономики [3].

На территории южного и юго-восточного склона Малого Кавказа широко распространены легко проницаемые туфы. Поэтому здесь доля участия подземных вод в формировании речного стока трансграничных рек составляет 44–65 %. Для рек северо-восточного склона Малого Кавказа этот показатель изменяется в пределах 20–40 %.

В целом, величина подземного стока уменьшается с северо-запада к юго-востоку, т.е. левобережные трансграничные притоки Аракса более полноводны, чем правобережные притоки Куры.

Величина подземного стока рек рассматриваемого региона возрастает с увеличением средней высоты водосбора. В указанном направлении происходит увеличение и доли подземного стока в годовом речном стоке. Коэффициент корреляции этой связи составляет 0,73 (рис. 2).

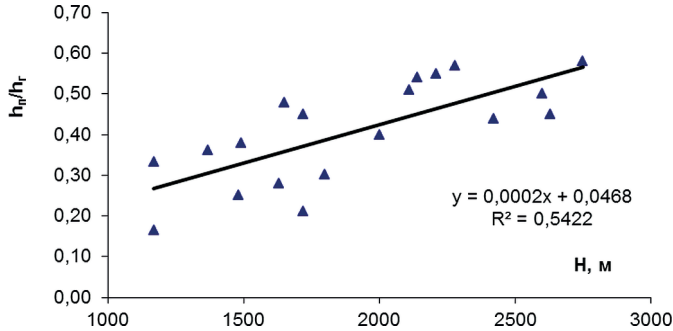


Рис. 2. Зависимость соотношения подземного стока к годовому стоку от высоты водосбора

С высотой местности также возрастают соотношения минимального летне-осеннего и зимнего стока к годовому стоку [5].

Для однородных по условиям формирования минимального стока пяти гидрологических районов, выделенных на территории изучаемого региона, существуют достаточно тесные связи между модулями минимального зимнего, летне-осеннего стока и базисного стока (произведение годового стока на коэффициент естественной зарегулированности стока). Коэффициенты парной корреляции этих линейных связей составляют 0,94–0,98.

Таковыми же высокими значениями коэффициентов корреляции характеризуются связи между минимальными и расходами воды за зимний и летне-осенний периоды. Обе эти связи являются линейными и имеют региональный характер, т.е. получены для всего Малого Кавказа. Аналогичная региональная связь ( $r = 0,97$ ) существует между расходами воды зимнего (XII–II) и летне-осеннего (VI–X) маловодных периодов [4].

Величина подземного стока всех рек Малого Кавказа составляет  $2,88 \text{ км}^3$  (48 %).

#### Многолетние колебания.

Из-за отсутствия данных по ежедневным расходам воды из верхней части бассейнов трансграничных рек в качестве показателей стока маловодных периодов использованы данные по минимальному месячному зимнему и летне-осеннему стоку рек. Также были использованы данные, приведенные в работе [9].

Значимость трендов оценена по методике И.И. Поляка, подробно описанной в работах [3, 7]. Результаты анализа линейных трендов представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Характер линейных трендов для рек северо-восточного склона Малого Кавказа (правобережные притоки р. Кура) и южного склона (левобережные притоки р. Аракс) отличаются. Для первой группы трансграничных и местных рек (Акстафачай, Гянджачай, Асрикчай, Дзегамчай) оба показателя зимнего стока (минимальный и зимний

маловодный сток) в многолетнем разрезе увеличиваются. Эти же показатели для рек второй группы (Арпачай, Охчучай) наоборот уменьшаются. Ряды летне-осеннего минимального маловодного стока также характеризуются отрицательными линейными трендами. В соответствующих рядах рек первой группы линейные тренды отсутствуют.

Таблица 2

**Проверка значимости линейного тренда в рядах минимального стока рек Малого Кавказа (при  $\alpha = 5\%$ )**

№	Река–пункт	Период наблюдений	Характеристика стока	Значимость тренда
1	Акстафачай–Иджеван	1929–2009	минимальный зимний	значим
			минимальный летне-осенний	незначим
2	Гянджачай–Зурнабад	1928–2009	минимальный зимний	незначим
			минимальный летне-осенний	незначим
3	Дзегамчай–Агбашлар	1941–2009	минимальный зимний	незначим
			минимальный летне-осенний	незначим
4	Асрикчай–Асрикджирдахан	1960–1990	минимальный зимний	значим
			минимальный летне-осенний	значим
5	Арпачай–Арени	1932–2009	минимальный зимний	значим
			минимальный летне-осенний	значим
6	Охчучай–Кафан	1935–2009	минимальный зимний	незначим
			минимальный летне-осенний	незначим

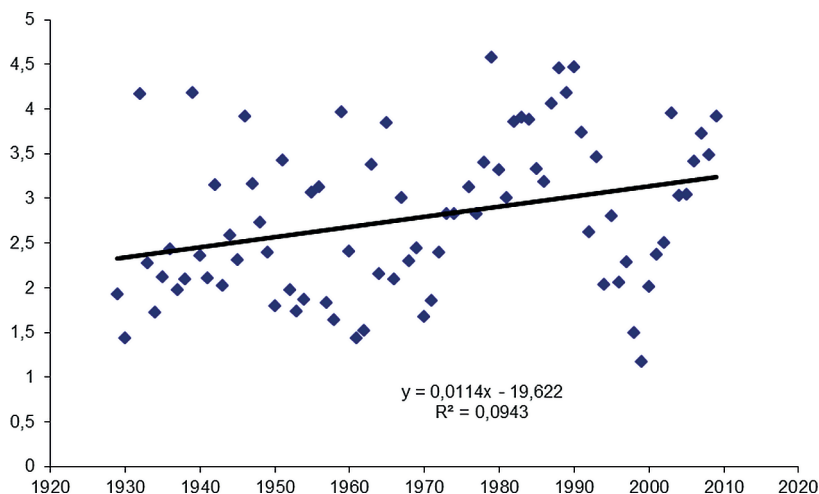


Рис. 3. Многолетняя динамика минимальных зимних расходов воды р. Акстафачай — г. Иджеван

При более детальном анализе многолетнего хода стоковых характеристик установлено, что например, в рядах р. Арпачай до начала 1970 г. и р. Охчучай до 1980 г. наблюдалась тенденция увеличения расходов воды. Это подтверждается анализом разностных интегральных кривых стока.

Уменьшение характеристик низкого стока рек бассейна Аракса, прежде всего, связано с влиянием антропогенных факторов. Ранее, используя данные по 1984 г. было показано, что минимальный летне-осенний сток рек Арпачай (с. Арени), Охчучай (с. Кафан), Воротан (с. Борисовка) и др. был ниже «нормы» на 16–38 % [5].

В бассейне реки Арпа выше с. Арени в 1956 г. начала действовать крупная Гетанская насосная станция, через которую в летние месяцы подается до 30 млн м<sup>3</sup> воды. В 1981 г. был сдан в эксплуатацию туннель Арпа-Севан, расход воды через который составляет до 21,5 м<sup>3</sup>/с. После введения в строй этого туннеля величина среднегодового стока р. Арпа уменьшилась на 40 %. В 1986 г. на р. Воротан (Базарчай) было построено Спандарянское водохранилище, объемом 157 млн м<sup>3</sup>. Уменьшение минимального летне-осеннего месячного стока за 1981–1995 гг. по отношению к естественному стоку составил на р. Арпачай (с. Арени) 55,8 %, на р. Воротан (с. Цхук) 28,5 % и на р. Охчучай (г. Кафан) 23,1 % [9, 10].

Другой причиной выявленных отрицательных трендов для рядов летне-осеннего минимального и сезонного стока трансграничных рек бассейна Аракса является происходящее в последние десятилетия климатические изменения. Так, минимальный летне-осенний сток не только рек Малого Кавказа, но и всего Азербайджана имеет тенденцию к уменьшению [5].

Основной особенностью современных изменений зимнего минимального и сезонного стока рек является увеличение в последние десятилетия их водности по всей территории Азербайджана, включая Малый Кавказ [6].

Следует отметить, что подобная реакция зимнего стока рек на происходящее потепление характерно для многих регионов мира, в том числе для территории России [3].

Это также является подтверждением тому, что уменьшение зимнего стока рек Арпачай, Базарчай и Охчучай обусловлено влиянием комплекса антропогенных факторов [10].

#### **Оценка стока маловодных периодов.**

Оценка стока зимнего (с декабря по февраль) и летне-осеннего (с июня по октябрь) маловодных периодов выполнена отдельно для трансграничных и местных рек (табл. 3). Для этой цели использованы данные по стоку замыкающих створов 30 рек. Из них 9 рек являются трансграничными, а остальные 21 местными.

Как следует из табл. 3 сток маловодных периодов трансграничных рек, почти в 1,5 раза меньше, чем сток местных рек. Следует также отметить, что для трансграничных и местных рек соотношения различных стоковых характеристик (годовой, подземный, зимний и летне-осенний сток) достаточно близкие.

**Стоковые характеристики рек Малого Кавказа**

Малый Кавказ	Объем стока	
	км <sup>3</sup>	%
Годовой сток		
Трансграничные реки	2,20	37
Местные реки	3,80	63
<b>Всего</b>	<b>6,00</b>	<b>100</b>
Подземный сток		
Трансграничные реки	0,99	35
Местные реки	1,85	65
<b>Всего</b>	<b>2,84</b>	<b>100</b>
Сток зимнего маловодного периода		
Трансграничные реки	0,16	39
Местные реки	0,25	61
<b>Всего</b>	<b>0,41</b>	<b>100</b>
Сток летне-осеннего маловодного периода		
Трансграничные реки	0,54	38
Местные реки	0,87	62
<b>Всего</b>	<b>1,41</b>	<b>100</b>

**Выводы**

- Объем стока рек Малого Кавказа за зимний маловодный период составляет 0,41 км<sup>3</sup>, из них 0,16 км<sup>3</sup> приходится на долю трансграничных рек. Для летне-осеннего маловодного периода эти цифры составляют соответственно 1,41 км<sup>3</sup> и 0,54 км<sup>3</sup>.
- Зимний минимальный и сезонный сток рек северо-восточного склона Малого Кавказа, входящих в бассейн р. Кура, в последнее 30 лет превысили среднегодовую норму, и это происходило за счет весеннего стока.
- Для рек южного и восточного склонов Малого Кавказа, входящих в бассейн р. Аракс, наоборот, характерно уменьшение минимального и сезонного стока, как для зимнего, так и для летне-осеннего периода. Это, связано в основном с факторами антропогенной деятельности в бассейнах рек.
- Уменьшение летне-осеннего стока является отрицательным фактором для обеспечения потребностей населения и экономики, прежде всего сельского хозяйства, являющегося основным водопользователем в регионе. Увеличение же зимнего стока, наоборот позволяет улучшить гарантированное водоснабжение населения. Учитывая, что в регионе потребность в воде сильно возрастает в основном в вегетационный период, для рационального использования имеющихся водных ресурсов, целесообразно строить новые водохранилища.



**Литература**

1. *Алекперов А.Б., Алиев Ф.Ш., Исрафилов Ю.Г. и др.* Геология Азербайджана. Т. VIII. Гидрогеология. — Баку: Нафта-Пресс, 2008. — 380 с.
2. *Виноградова О.В., Виноградова Н.Н.* Реакция горных рек Кавказа на изменения климата. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География, 2013, № 4, с. 44–48.
3. Водные ресурсы России и их использование. Под ред. И.А. Шикломанова. — СПб.: ГГИ, 2008. — 498 с.
4. *Гулиева А.А.* Исследование стока маловодных периодов рек Малого Кавказа. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. к.г.н. — Баку, 2010 (на азерб. языке).
5. *Иманов Ф.А.* Минимальный сток рек Кавказа. — Баку: изд. «Нафта-пресс», 2000. — 298 с.
6. *Иманов Ф.А., Алиева И.С., Гулиева А.А.* Современные изменения стока трансграничных рек Малого Кавказа. // Вестник Бакинского Университета. Сер. естественных наук (на азерб. языке), 2008, № 2, с. 174–179.
7. *Поляк И.И.* Оценка линейного тренда временных метеорологических рядов. // Труды ГГО, 1975, вып. 364, с. 51–55.
8. *Рустамов С.Г., Кашкай Р.М.* Водный баланс Азербайджанской ССР. — Баку, 1978. — 180 с.
9. *Саркисян В.О.* Воды Армении. — Ереван, 2008. — 208 с.
10. *Фатуллаев Г.Ю.* Современные изменения водных ресурсов и водного режима рек Южного Кавказа. — Баку: изд. БГУ, 2002. — 167 с.