

## ГИДРОЛОГИЯ

УДК 911.2:556.5

### ПРОГНОЗ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕКИ МАРМАРИК И ОЦЕНКА ЕГО РЕАКЦИИ НА ГЛОБАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА (АРМЕНИЯ)

В.Г. Маргарян

Ереванский государственный университет, Ереван, Армения



В работе рассматриваются особенности формирования максимальных расходов р. Мармарик, оценены закономерности многолетних колебаний максимальных расходов в разных речных створах в контексте глобального изменения климата, сделан сравнительный анализ, дан прогноз максимального расхода для замыкающего речного створа. В качестве исходного материала использованы фактические данные наблюдений Армгидромета. Проанализированы и использованы литературные источники, применены математико-статистический, географический, а также методы сравнения и анализа.

**Ключевые слова:** максимальный расход, многолетние колебания, прогноз, многофакторная корреляционная связь, река Мармарик.

#### Введение и постановка проблемы

Река Мармарик (рис. 1) является основным и самым многоводным притоком р. Раздан. Длина реки – 37 км, площадь водосборного бассейна – 427 км<sup>2</sup>,

средняя высота бассейна – 2 300 м, отметка истока – 2 520 м, устья – 1 699 м. Средний уклон речного бассейна – 22 ‰. Основные притоки р. Мармарик – Мисхана, Еркаргет, Улашик, Шумлар, Артаваз, Кабахлу, Гомур.



Рис. 1. Местоположение речного бассейна Мармарик на территории Республики Армения

Fig. 1. Location of the Marmarik river basin in the territory of Republic Armenia

Питание реки снегодождевое (74,8%) и подземное (25,2%) [Гидрография Армянской ССР, 1981], полово-

дье наблюдается весной и в начале лета, во время которого по реке проходит 65–80% годового стока.

Воды реки используются для орошения и водоснабжения промышленных предприятий. Речная долина имеет большие рекреационные возможности – здесь действует комплекс летних домов отдыха. В долине р. Мармарик находится месторождение минеральной воды «Анкаван».

Принимая во внимание роль и значение р. Мармарик, в работе была поставлена цель – исследовать, оценить и спрогнозировать ее максимальный сток при глобальном потеплении климата.

Для достижения цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- исследовать основные физико-географические факторы, обуславливающие максимальный сток;
- собрать, обработать и оценить гидрологические и метеорологические элементы речного бассейна;
- выяснить особенности пространственно-временного распределения максимальных расходов рек речного бассейна;
- проанализировать особенности максимального стока рек бассейна;
- спрогнозировать максимальный сток при глобальном потеплении климата.

Разные отрасли хозяйства, и в первую очередь гидроэнергетика и сельское хозяйство, нуждаются в заблаговременных прогнозах водного режима, в том числе величин максимального стока, а также стока в период весенних половодий.

#### Методика исследования и фактический материал

Для решения этой задачи собраны, уточнены и проанализированы результаты фактических наблюдений, которые хранятся в фонде данных Службы по гидрометеорологии и активному воздействию на атмосферные явления МЧС Республики Армения. В процессе исследования использованы соответствующие литературные источники [Наставление... 1962; Аполлов и др., 1974; Попов, 1979; Георгиевский и Шаночкин, 2007; Гидрография... 1981].

С целью решения данной задачи были выполнены следующие работы:

1. Собраны и обработаны величины максимального стока и сроки их прохождения на гидрометрических наблюдательных постах Анкаван и Агавнадзор на р. Мармарик и на посту Меградзор на р. Гомур.

2. Собраны и проанализированы данные наблюдений температуры воздуха и осадков метеорологических станций Анкаван, Раздан и Апаран.

3. Разработана методика прогнозирования максимального стока.

Проанализированы изменения величин максимального стока в условиях современных изменений климата.

В процессе исследования проанализированы и использованы соответствующие литературные источники [Наставление... 1962; Аполлов, Калинин, Комаров, 1974; Попов, 1979; Гидрография... 1981; Гареев, Зайцев, 2016; Георгиевский, Шаночкин, 2007; Сафина, Голосов, 2018]. В качестве исходного материала в работе использованы результаты фактических наблюдений «Службы по гидрометеорологии и активному воздействию на атмосферные явления МЧС Республики Армения».

В бассейне р. Мармарик гидрологические и метеорологические исследования проводились начиная с 30-х гг. XX в. (табл. 1, 2), результаты которых в виде книжек наблюдений и рабочих таблиц хранятся в основном гидрометеорологическом фонде Армгидромета.

В бассейне р. Мармарик метеорологические наблюдения проводились начиная с ноября 1934 г. Однако необходимо отметить, что бассейн р. Мармарик с точки зрения метеорологических наблюдений является одной из плохо освоенных территорий. Здесь в разные годы действовали одна метеорологическая станция (Анкаван) и два наблюдательных поста (Агавнадзор и Меградзор). В настоящее время (2019 г.) в речном бассейне не действует ни одна метеорологическая станция. Единственная метеостанция Анкаван, расположенная на высоте 1957 м, в 2018 г. закрылась.

Таблица 1

Метеорологические станции и наблюдательные посты в бассейне р. Мармарик

Table 1

Meteorological stations of Marmarik River basin

Название	Географическая широта, $\varphi^0$	Географическая долгота, $\lambda^0$	Абсолютная высота, м	Станция, время работы	Наблюдательный пост, время работы
Анкаван	40°38'	44°29'	1 957	1934–1940 1957–04/1987 1998–02/2002 08/2002–01/2018	1941–1957 1988–199, 02/2002–08/2002
Меградзор	40°37'	44°40'	1 729		1953–1956, 1979–1997
Агавнадзор	40°34'	44°42'	1 739		1914; 1953–1997

Таблица 2

## Основные гидрометрические и гидрологические характеристики бассейна р. Мармарик

Table 2

## Main hydrometric and hydrological characteristics of the Marmarik River basin

Река – пост	Расстояние от устья, км	Водосбор		Период наблюдений, годы	Многолетние величины стока				
		Площадь, км <sup>2</sup>	Средняя высота, м		средний годовой, м <sup>3</sup> /с	модуль, л/с км <sup>2</sup>	слой стока, мм	максимальный, м <sup>3</sup> /с	минимальный, м <sup>3</sup> /с
Мармарик – Анкаван	30,0	93,5	2430	1956–2017	1,67	17,9	563	33,4	0,12
Мармарик – Артаваз	–	167	2420	1958–1960	2,76	16,5	521	29,8	0,34
	3,6	395		1936–1940,					
Мармарик – Агавнадзор	7,7	387	2350	1942–991,	4,79	12,1	382	86,7	0,14
	8,0	375		2000–2017					
Шумлар – Каракала	–	2,10	2260	1958–1960	0,016	7,62	240	0,28	0,00
Корогли – Артаваз	–	8,50	2470	1958–1960	0,12	14,1	445	1,67	0,00
Улашик – Артаваз	0,5	39,4	2560	1970–1988	0,80	20,3	640	12,2	0,050
	1,8	97,0		1936–1956,					
Гомур – Меградзор	2,9	101	2430	1958–1994,	1,52	15,7	494	50,6	0,010
	2,6	101		2000–2017					
Тежгет – в 4,7 км от устья	–	11,5	2740	1958	–	–	–	–	–
Без названия – близ устья	–	7,00	2720	1958	–	–	–	–	–

Метеорологическая станция Анкаван некоторое время имела статус наблюдательного поста (т.е. там проводились наблюдения только за осадками и снежным покровом), затем она снова выполняла роль метеорологической станции, следовательно, непрерывность ряда наблюдений здесь нарушена. Поэтому нами использованы данные наблюдений соседних метеорологических станций – Раздан и Апаран.

В период 1930–2019 гг. в бассейне р. Мармарик в общей сложности действовали 9 гидрометрических наблюдательных постов, из которых только один – до 1958 г., три – 3 года (1958–1960 гг.). Сравнительно длинный ряд наблюдений имеют 4 гидрометрических наблюдательных поста (р. Мармарик – п. Анкаван, р. Мармарик – п. Агавнадзор, р. Улашик – п. Артаваз, р. Гомур – п. Меградзор), а с 1 июня 1988 г. не действует также пост Артаваз на р. Улашик. В настоящее время (2019 г.) в бассейне действуют только 3 наблюдательных поста, данные которых и были использованы в исследованиях прогноза максимального стока.

Для исследования, анализа и оценки закономерностей пространственно-временных изменений максимального стока нами использована математико-статистическая модель, которая посредством корреляционных связей между отдельными элементами водных ресурсов и обуславливающими их метеорологическими элементами дает возможность оценить и прогнозировать водные ресурсы.

После исследования, анализа и оценки физико-географических условий бассейна, имеющихся литературных источников и исходных материалов нами получены зависимости прогноза, некоторые из них можно применить при составлении оперативных прогнозов.

### Результаты и обсуждение

Известно, что именно физико-географические условия определяют возникновение стока и его изменение во времени, особенности формирования и этапы водного режима. В формировании максимального стока горных рек, каковой является р. Мармарик, основная роль принадлежит талым и дождевым водам, а также влияют также такие факторы, как геологическое и гидрогеологическое строение, морфометрические и морфологические элементы рельефа, средняя высота водосборного бассейна реки, запас воды в снеге, интенсивность снеготаяния, выпадения жидких осадков и инфильтрация, продолжительность осадков и их неравномерное распределение в пределах бассейна и во времени, испарение, озерность бассейна, почвенно-растительный покров и др. [Ресурсы... 1973; Шагинян, 1981].

Рельеф бассейна типично горный, сильно расчленен долинами, оврагами и водотоками. С орографической точки зрения бассейн р. Мармарик находится в области Северо-Восточных складчато-глыбовых гор [Физическая... 1971].

Гидрогеологические условия бассейна р. Мармарик неблагоприятны для инфильтрации поверхностных вод, и в нем нет большого накопления подземных вод. Воды атмосферных осадков с огромной скоростью стекают по имеющим значительный уклон горным склонам: здесь коэффициент стока намного больше, чем в вулканических областях.

Климат бассейна р. Мармарик континентальный – с холодными зимами и умеренно-теплым летом. Орографические особенности сильно влияют на распределение метеорологических элементов, а следовательно, и на формирование речного стока.

Важными метеорологическими элементами формирования максимального стока являются температура воздуха и атмосферные осадки, величины которых и были использованы в работе. Температура воздуха – одна из важнейших характеристик климата, а значит и стокообразования любой местности. Велико ее влияние на гидрографические процессы и в частности на испарение, формирование стока, циркуляцию влаги, формирование ледовых явлений. Повышение температуры приводит к увеличению испарения и уменьшению стока. Средняя годовая температура на метеорологической станции Анкаван составляла  $4,02^{\circ}\text{C}$  (1934–2015 гг.), самые жаркие месяцы – июль и август ( $14,6^{\circ}\text{C}$ ), самый холодный месяц – январь ( $-7,41^{\circ}\text{C}$ ).

С точки зрения формирования речного стока очень важна характеристика изменения температуры воздуха с высотой местности, так как от этого зависят характер и общее количество осадков, а следовательно, величина того или иного источника питания реки. Вертикальный градиент температуры в бассейне составляет  $0,61^{\circ}\text{C}$  на каждые 100 м.

Важным элементом, обуславливающим формирование стока, являются также показатели теплообеспеченности: переход температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  (весной и осенью), сумма и продолжительность температур выше  $0^{\circ}\text{C}$ , которые характеризуют период накопления и таяния снега. На метеорологической станции Анкаван сумма температур ниже  $-5$  и  $0^{\circ}\text{C}$  составляет  $-659$  и  $-796^{\circ}\text{C}$ ; сумма температур выше  $0$ ,  $5$ ,  $10$  и  $15^{\circ}\text{C}$  составляет соответственно  $2\,126$ ,  $1\,997$ ,  $1\,450$ ,  $302^{\circ}\text{C}$ . Важным фактором являются также сроки начала, конца заморозков и продолжительность безморозного периода. Весной первые заморозки наблюдались в среднем 12 мая, а осенью – 19 августа, продолжительность безморозного периода в среднем составляет 98 дней.

В условиях сложного горного рельефа различия теплового потока на разных высотах и экспозициях горных склонов приводят к неравномерному и неодновременному таянию снежного покрова на разных высотах, что, в свою очередь, влияет на величину и срок прохождения максимального стока.

В процессе формирования максимального стока среди климатических факторов особенно велика роль атмосферных осадков. Годовое количество осадков в исследуемом бассейне составляет 782 мм. Максимальная часть осадков выпадает во второй половине весны и в первой половине лета (в среднем 30–50% годового количества), а минимальная – во второй половине лета и зимой. В апреле–июне количество осадков в среднем составляет 294 мм. Некоторое увеличение наблюдается также в октябре–ноябре, однако их влияние на формирование стока не существенно. Летом (июль–август) количество осадков уменьшается, и они составляют 5–20% годового количества. Зимой (декабрь–февраль) количество осадков также невелико (многолетнее среднее – 146 мм), и они составляют 10–30% годового количества.

Несмотря на то что количество выпавших в течение года жидких осадков превышает количество выпавших зимой твердых осадков, тем не менее, их роль в процессе стокообразования сравнительно мала, так как значительная часть жидких осадков расходуется на испарение и инфильтрацию.

В формировании максимального стока велика роль осадков, выпавших в виде снега: запас воды в снеге, накопленном в речном бассейне перед весенним половодьем, а также таяние снега весной обуславливают величину и срок прохождения максимального стока.

В холодное время года осадки в речном бассейне выпадают в виде снега, который образует устойчивый снежный покров: период снегонакопления – 130–140 дней. Распределение снега подчиняется высотной поясности и влиянию разных физико-географических факторов. Запасов снега на правом берегу больше, чем на левобережье, что обусловлено залесенностью правого берега. Основная зона снегонакопления находится на высотах 2 000–2 600 м. Мощность снежного покрова колеблется в пределах 15–130 см. Содержание воды в слое снега является важным показателем и в определенной степени влияет на величину стока половодья и влажность почвы. В течение зимы оно увеличивается параллельно увеличению высоты снежного покрова, достигая максимума в конце февраля или в середине марта.

В бассейне р. Мармарик снег выпадает с ноября. По данным наблюдений станции Анкаван, средняя дата начала выпадения снега – конец ноября или первая декада декабря. Самая ранняя дата была 12 октября, самая поздняя – 10 декабря. Выпадение осадков в виде снега наблюдается до конца марта, а в отдельные годы – и до апреля.

Средняя величина температуры заметного снеготаяния, определенная по величине среднесуточной температуры воздуха станции Раздан, с учетом притока воды в русло р. Мармарик, составляет  $2,5\text{--}3,0^{\circ}\text{C}$ . Сне-

готаяние обычно наблюдается в конце марта – начале апреля и продолжается до первой декады июня.

Большое влияние на формирование максимального стока имеют также наблюдавшиеся в холодный период оттепели, которые очень редки и наблюдаются в нижней части бассейна. В этом случае происходит потеря стока, что связано с потерей запаса воды в снеге, в то время как в верхней части наблюдается уплотнение снежного покрова. Особенно часто оттепели бывают в марте и приводят к существенным изменениям стока.

Велика также роль степени увлажнения почвы бассейна предыдущего периода, что характеризует свойство просачиваемости талых вод в почву.

Большие колебания высот и расчлененность рельефа обуславливают многообразие природы и вертикальную поясность ландшафтов. Здесь хорошо выражены четыре вертикальных пояса: горные степи, горные леса, субальпийские и альпийские луга [Физическая... 1971], которые оказывают влияние на формирование стока и его внутригодовое распределение.

Около 12% территории речного бассейна (50 км<sup>2</sup>) покрыты лесом. Леса имеют почвозащитное, водозащитное, санаторное значение.

Отмеченные физико-географические факторы обуславливают особенности формирования максимального стока рек бассейна и его пространственного распределения.

Таблица 3

## Основные характеристики максимальных расходов воды

Table 3

## Main characteristics of maximum water flow

Река – пост	Максимальный расход				Сроки прохождения максимального расхода		Средний максимальный расход, м³/с
	Абсолютная максимальная величина		Абсолютная минимальная величина				
	м³/с	Сроки прохождения	м³/с	Сроки прохождения	самые ранние	самые поздние	
Мармарик – Анкаван	33,4	11.05.2007	5,08	09.05.2014	08.04.2001	28.07.1982	15,7
Мармарик – Агавнадзор	86,7	18.04.1968 03.05.1987	9,85	25.08.2014	06.03.2004	01.09.2014	39,1
Улашик – Артаваз	12,2	05.06.1977	2,53	07.06.1979	14.04.1970	04.08.1982	6,83
Гомур – Меградзор	50,6	01.05.1976	2,40	01.05.2000	24.03.2008	28.06.1953	14,9

Годовой сток бассейна р. Мармарик характеризуется одним ярко выраженным весенним (апрель–июнь) максимумом. Во время весенних половодий в реках бассейна проходит 65–80% годового стока, когда часто наблюдается максимальный расход воды реки.

Максимальный расход воды формируется с участием трех основных компонентов стока – талого, дождевого и подземного. Талый компонент, как правило, преобладает над другими. Максимальные расходы воды обычно формируются в конце апреля – начале мая, но особенно в первой половине мая (см. табл. 3). Ранние наблюдаемые максимальные расходы формируются под влиянием снегового фактора, поздние наблюдаемые максимальные расходы – под влиянием дождей. Максимальные расходы, наблюдаемые с середины апреля – начала мая, обычно формируются под влиянием одновременного воздействия снегового и дождевого факторов, и характеризуются большими величинами.

Между величинами максимального расхода и сроками его прохождения заметны довольно боль-

шие различия, что объясняется неодновременным таянием снега, а также различиями климатических условий.

В речном бассейне наблюдается тенденция уменьшения максимального стока (рис. 2), что обусловлено ростом температуры воздуха. Подобная ситуация имела место в результате наших прошлых исследований [Маргарян, 2011, 2014; Маргарян, Варданян, 2011; Margaryan, 2012, 2018; Vardanian, 2017]. Это явление свойственно также некоторым другим рекам Республики Армения.

Нами была сделана попытка дать прогноз максимального стока. В практике прогнозов в связи с использованием компьютерных программ широкое распространение получают многофакторные регрессионные связи между стоком и обуславливающими его факторами, которые дают довольно-таки хороший результат, так как одновременно обсуждается влияние разных факторов (предикторы) на прогнозируемый элемент (предиктант). Часто эта связь принимает вид линейной функции:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b, \quad (1)$$

где  $y$  – прогнозируемая величина,  $b$  – свободный член,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – аргументы. Именно этот метод применен в данной работе для прогнозирования максимальных расходов.

Для определения максимальных расходов наблюдательных постов Анкаван и Меградзор были использованы осадки зимнего периода, сумма положительных температур, жидкие осадки, объем стока периода половодья, однако достоверные зависимости не были получены. Эти зависимости можно применить для консультаций.

Для определения максимального стока в створе Агавнадзор р. Мармарик получено следующее уравнение:

$$Q_{\max} = 0,11 \sum X_{XI-III} - 3,14 \bar{t}_{IV} + 0,54 W_{IV} + 9,80, \quad (2)$$

где  $\sum X_{XI-III}$  – сумма осадков с ноября по март метеорологической станции Анкаван (мм),  $\bar{t}_{IV}$  – средняя величина температуры воздуха апреля станции Раздан ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $W_{IV}$  – объем стока апреля наблюдательного пункта Агавнадзор (млн  $\text{м}^3$ ). Заблаговременность прогноза по формуле (1) – один-два месяца.

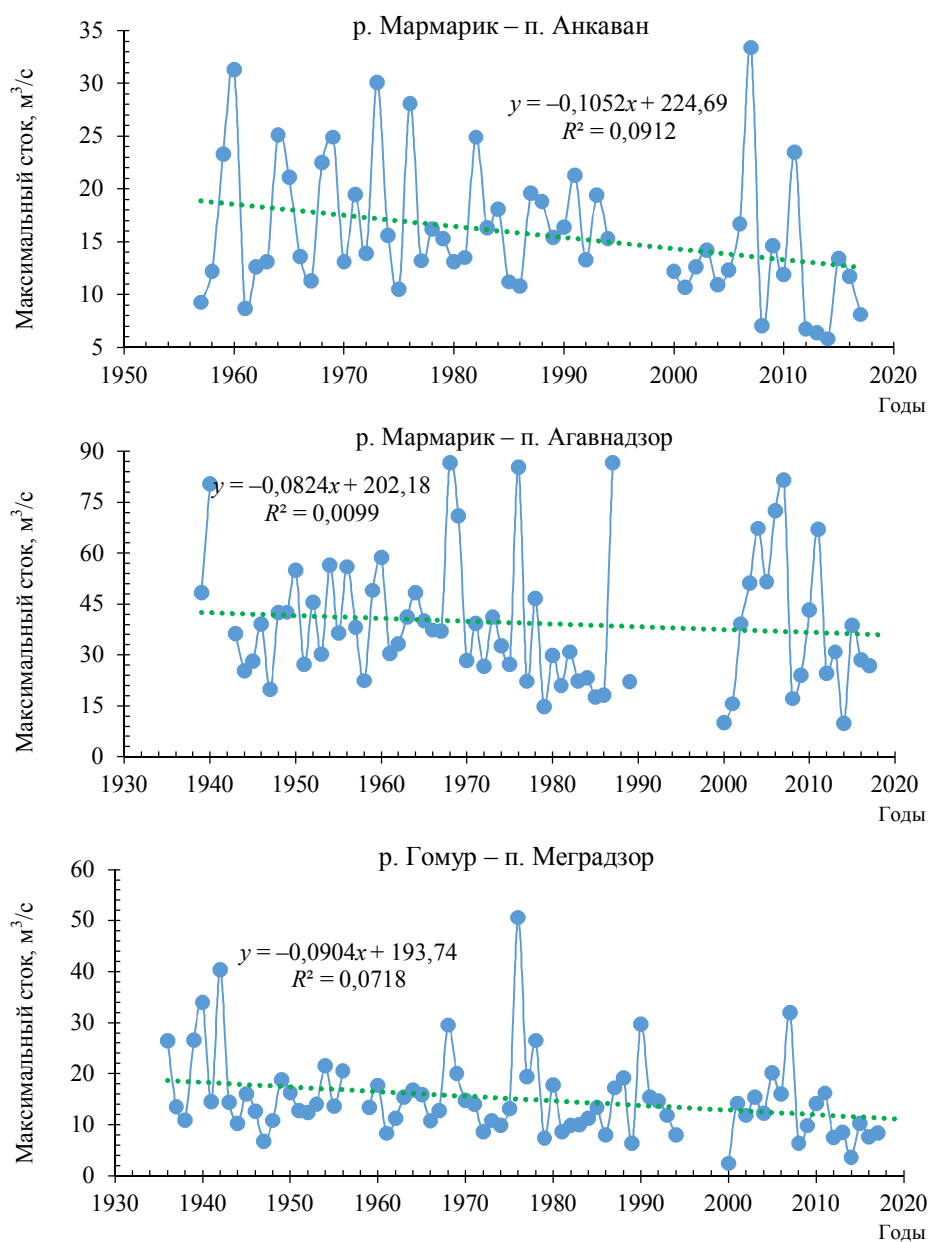


Рис. 2. Годовые изменения максимального стока

Fig. 2. Annual changes in maximum flow

Чем меньше соотношение  $\bar{S}/\bar{\sigma}$ , тем выше точность регрессионных связей. В соответствии с «Наставлением по службе прогнозов» [Наставление... 1962] уравнение (2) приемлемо для составления оперативных прогнозов (табл. 4). Однако из табл. 1 видно, что ряд данных по осадкам метеорологической станции Анкаван нарушен и поэтому он восстановлен при использовании данных осадков станции Апаран за 1936–2015 гг. (рис. 3).

Между данными осадков двух метеорологических станций получена удовлетворительная корреляционная связь  $R = 0,82$ , которая использована для восстановления прерванного ряда осадков Анкавана.

С помощью полученного уравнения (2) составлены контрольные прогнозы и на рис. 4 представлены сопоставления фактической и рассчитанной значений величины максимального стока. Видно, что высокие значения максимального стока по уравнению регрессии (2) систематически занижаются, а низкие – завышаются.

Для оценки воздействия изменения климата на максимальный сток использованы математико-статистическая или регрессионная модели, которые описывают линейные связи между элементами стока и климатическими факторами (температура воздуха и атмосферные осадки). Чтобы определить предварительное или климатическое базисное состояние, с ко-

торым надо сравнить будущие прогнозы, необходимо иметь длинный ряд данных, включающими циклы колебаний климата и характеризующими современные климатические условия. Для оценки или прогноза воздействия изменения климата необходимо количественное представление о климатических изменениях, которые будут иметь место в будущем, однако для прогнозирования будущего климата пока нет надежных методов. Вместо них выбирается так называемый ряд климатических сценариев будущего климата.

Согласно данным модели CCSM4, сценариям выбросов RCP8.5 (эквивалентно сценарию SRES A2) и RCP6.0 (эквивалентно сценарию SRES B2) для Армении разработаны будущие изменения температуры воздуха и количества осадков до 2100 г. [Armenia's... 2015]. В табл. 5 представлены прогнозируемые изменения средней температуры воздуха и количества осадков на территории Армении за весенний период по сравнению со средним за 1961–1990 гг.

С нашей стороны это стало основой для оценки реакции максимального стока р. Мармарик по отношению к ожидаемым изменениям климата. Отметим, что согласно модели CCSM4 результаты будущего изменения климата в целом соответствуют ранее полученным результатам по региональной модели PRECIS. Однако результаты модели CCSM4 более удачны для температуры, чем для осадков.

Таблица 4

## Показатели качества методики

Table 4

## Technique quality indicators

$\bar{S}/\bar{\sigma}$	$R$	$\delta$	Тип методики
0,59	0,81	12,7	удовлетворительный

Примечание:  $\bar{S}$  – средняя квадратическая ошибка проверочных прогнозов,  $\bar{\sigma}$  – среднее квадратическое отклонение от нормы прогнозируемой величины,  $\delta$  – допустимая ошибка,  $R$  – коэффициент множественной линейной корреляции.

Note:  $\bar{S}$  – the root-mean-square error of the verification forecasts,  $\bar{\sigma}$  – the root-mean-square deviation from the norm of the predicted value,  $\delta$  – the allowable error,  $R$  – the multiple linear correlation coefficient.

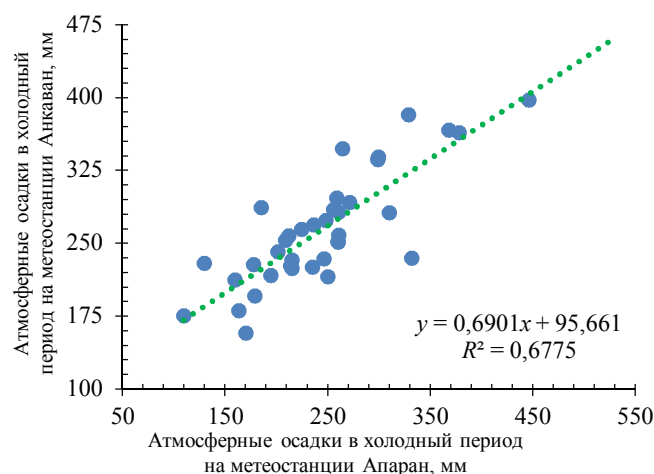


Рис. 3. Корреляционная связь величин сумм атмосферных осадков с ноября по март между метеостанциями Анкаван и Апаран

Fig. 3. Correlation between the values of precipitation from November to March between meteostations Ankavan and Aparan

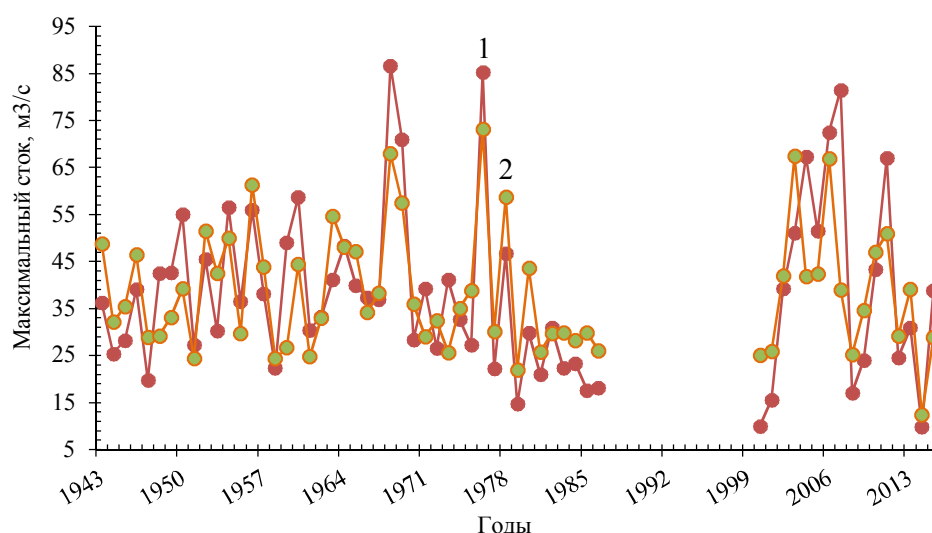


Рис. 4. Сопоставление величин фактического (1) и расчетного (2) максимального стока  
р. Мармарик – п. Агавнадзор

Fig. 4. Comparison of the actual (1) and estimated (2) maximum runoffs  
Marmarik River at Aghavnadzor

Таблица 5

Прогнозируемое изменение средней температуры воздуха и суммы атмосферных осадков на территории Армении  
за весенний период по отношению к среднему за 1961–1990 гг.

Table 5

The predicted change in average air temperature and the amount of precipitation in the territory  
of Armenia for the spring period in relation to the average for 1961–1990

Сценарий	2011–2040 гг.	2041–2070 гг.	2071–2100 гг.
Средняя температура воздуха, °C			
RCP, 6.0	1,3	2,4	2,7
RCP, 8.5	1,4	2,7	3,9
Атмосферные осадки, %			
RCP, 6.0	1,2	4,2	2,6
RCP, 8.5	4,2	–8,0	2,4

Таблица 6

Прогнозируемые изменения максимального стока р. Мармарик

Table 6

Predicted changes in the maximum runoff of the Marmarik River

Река – пост	Сценарий	Изменение стока							
		1961–1990 гг.		2040 г.		2070 г.		2100 г.	
		м³/с	%	м³/с	%	м³/с	%	м³/с	%
Мармарик – Агавнадзор	RCP, 6.0	86,7	0	32,9	62	27,3	68	25,2	71
	RCP, 8.5	86,7	0	33,1	62	22,3	74	18,2	79

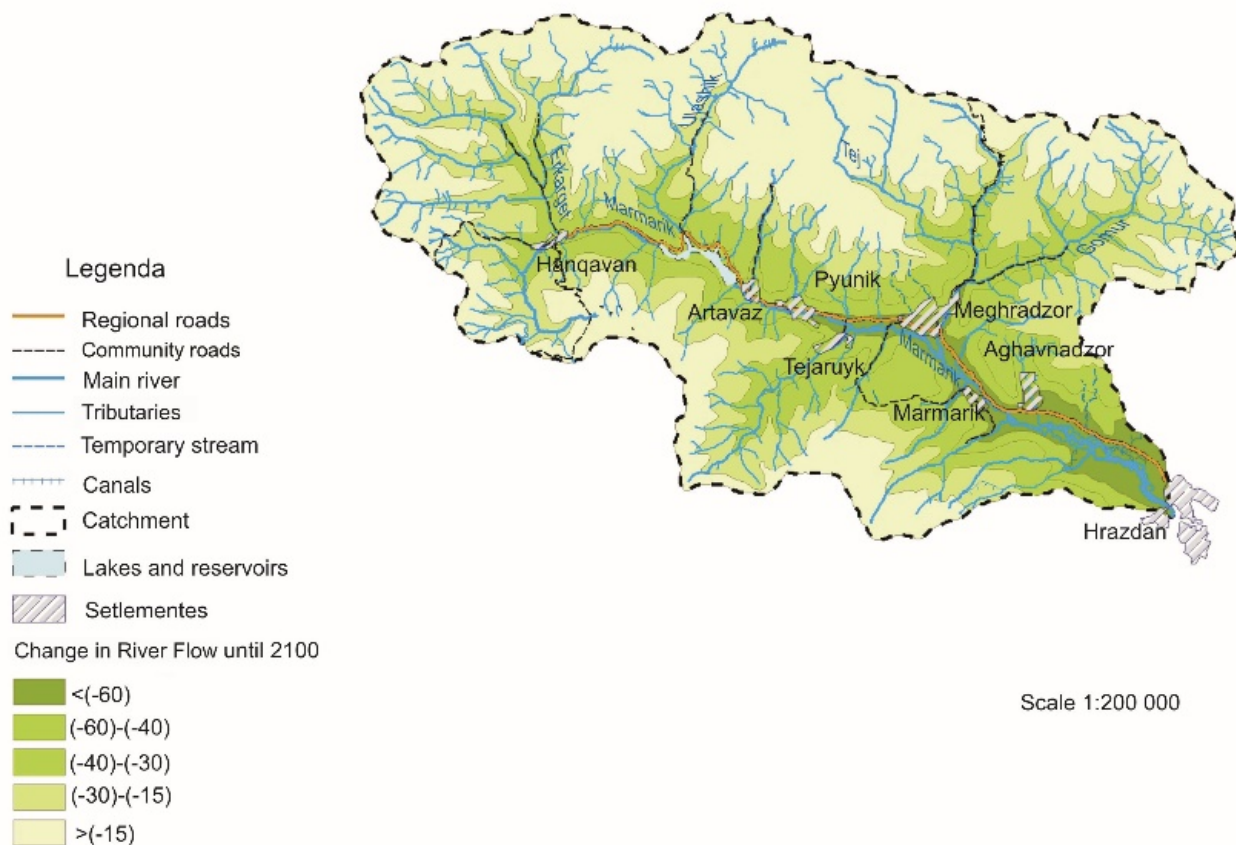
Для оценки реакции стока сначала были установлены связи между стоком и климатическими факторами (температура воздуха и атмосферные осадки за период с марта по май), после чего на основе фактических данных произведена оценка изменений стока (см. табл. 6). Из табл. 6 видно, что в межгодовой изменчивости максимального речного стока четко

проявляется тенденция к снижению, что, скорее всего, обусловлено ростом температуры воздуха. Подобная ситуация свойственна также некоторым другим рекам на территории СНГ.

При разных сценариях во всех случаях в створе Агавнадзор р. Мармарик наблюдается разная степень изменений максимального стока. Причем ми-

нимальные изменения наблюдаются при первом сценарии, максимальные – при втором сценарии. Изменения средних значений экстремального стока по сравнению со средним за 1961–1990 гг. состав-

ляют от –5,01 до –33,5 и от –4,81 до –52,0%. На рис. 5 представлены изменения в речном стоке (%) бассейна р. Мармарик для 2100 г. согласно сценарию IPCC A2.



**Рис. 5. Изменения в речном стоке (%) бассейна р. Мармарик для 2100 г. согласно сценарию IPCC A2 [Complex Assessment... 2009]**

**Fig. 5. Changes in actual river flow in Marmarik River basin for 2100, in per cents, according to IPCC A2 scenario [Complex Assessment... 2009]**

### Заключение

Таким образом, максимальный сток р. Мармарик преимущественно зависит от запаса снега, накопленного в бассейне за холодный период года, который, однако, нами не использовался по той причине, что после 1990-х гг. не производилась маршрутная снегосъемка. Вместо этого использовался косвенный показатель – сумма осадков за зимний период (XI–III). На формирование максимального стока влияет также величина средней температуры воздуха апреля, от хода которой зависит характер снеготаяния.

В речном бассейне наблюдается тенденция уменьшения максимального стока, что является результатом изменения климата, особенно роста температуры воздуха.

Полученную тесную многофакторную корреляционную связь между величинами максимального стока и метеорологических элементов можно применить для составления оперативного прогноза, который выпускается ежегодно 24–25 марта.

При разных сценариях наблюдается разная степень изменений максимального стока. Причем минимальные изменения наблюдаются при первом сценарии, максимальные – при втором сценарии.

### ЛИТЕРАТУРА

- Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л. : Гидрометеиздат, 1974. 422 с.  
 Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы : учеб. СПб. : Изд. РГГМУ, 2007. 436 с.

- Гидрография** Армянской ССР. Ереван : Изд-во АН Арм. ССР, 1981. 177 с. На армян. яз.
- Маргарян В.Г.** Методика долгосрочного прогнозирования вегетационного и годового стока водомерного поста Анкаван реки Мармарик // Научная конференция по современным проблемам географии и геологии : сб. науч. тр. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения проф. П.С. Бошнагяна. Ереван : Изд-во ЕГУ, 2011. С. 95–103. На армян. яз.
- Маргарян В.Г.** Особенности формирования и внутригодового распределения стока реки Мармарик // Научная конференция по современным проблемам геологии, географии и экологии : сб. науч. тр. конф., посвящ. 70-летию со дня рождения доцента Э.Х. Харазяна. Ереван : Тигран Мец, 2014. С. 226–240. На армян. яз.
- Маргарян В.Г., Варданян Т.Г.** Закономерности пространственно-временного распределения стока весенних половодий реки Мармарик // Ученые записки Ереванского государственного университета. Геология и география. 2011. № 1. С. 30–39. На армян. яз.
- Наставление** по службе прогнозов Разд. 3. Служба гидрологических прогнозов. Ч. 1: Прогнозы режима вод суши. Л. : Гидрометеиздат, 1962. 192 с.
- Попов Е.Г.** Гидрологические прогнозы. Л. : Гидрометеиздат, 1979. 256 с.
- Ресурсы** поверхностных вод СССР. Т. 9, вып. 2: Бассейн р. Аракса / под ред. А.П. Муранова. М. : Гидрометеиздат, 1973. 471 с.
- Физическая география** Армянской ССР. Ереван : Изд-во АН Арм. ССР, 1971. 470 с. На армянском яз.
- Шагинян М.В.** Основные закономерности формирования элементов стока рек Армянской ССР и методика их прогнозирования. Л. : Гидрометеиздат, 1981. 176 с.
- Armenia's** Third National Communication on Climate Change. Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia. Yerevan : Lusabats, 2015. 165 p.
- Complex** Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources of Marmarik River Basin of Armenia Prepared in the frame of the "Enabling Activities for the Preparation of Armenia's Second National Communication to the UNFCCC" UNDP/GEF/00035196 Project. Yerevan, 2009. 16 p.
- Margaryan V.G.** Marmarik Rivers Runoff in Global Warming Climate Conditions. Abstracts of the 32th International Geographical Congress "Down to Earth". Cologne, Germany, 2012. P. 42–43.
- Margaryan V.G.** The Assessment of the Most Extreme Values Changes of Marmarik River Flow (in the Hankavan Hydrological Point) for Spring Floods on the Context of Global Climate Change. Book of Abstracts: GEWEX Convection-Permitting Climate Modeling Workshop 6th-8th September. Boulder, CO, USA, 2016. P. 89.
- Margaryan V.G.** Assessment and management challenge of maximum river flow of the spring flood risk of Marmarik Rivers // *Hydrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia: The scientific collection*. 2018. № 4 (51). P. 56–63.
- Vardanian T.G.** Specific features of extreme maximum river runoffs in the context of global climate change (case study of the rivers of the republic of Armenia) // *Uchenyye zapiski RGGMU. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*. 2017. № 46. P. 43–50.

**Автор:**

**Маргарян Вардун Гургеновна**, кандидат географических наук, доцент, кафедра физической географии и гидрометеорологии, географический и геологический факультет, Ереванский государственный университет, Ереван, Армения.  
E-mail: vmargaryan@ysu.am

*Geosphere Research*, 2019, 4, 35–45. DOI: 10.17223/25421379/13/4

**V.G. Margaryan**

*Yerevan State University, Yerevan, Armenia*

**FORECAST OF THE MAXIMUM FLOW MARMARIK RIVER  
AND REACTIONS OF THE GLOBAL CLIMATE CHANGE (ARMENIA)**

The paper discusses and analyzes the peculiarities of formation of maximum flow rates of the Marmarik River, analyzes and evaluates the patterns of multi-year fluctuations of maximum flow rates in different river sites in the context of global climate change, made a comparative analysis, gave a forecast of the maximum flow rate for the lower river course. Actual observational data of Armhydromet for maximum flow rate, air temperature and precipitation were used as the source material.

The available literature sources were processed and analyzed, the mathematical-statistical, geographical, and also methods of comparison and analysis were applied.

To determine the maximum flow rates of the Marmarik River, the Ankavan post and the Gomur River, the Meghradzor post, the winter period precipitation, the sum of positive temperatures, liquid precipitation, the volume of the runoff of the flood period were used, but no reliable dependencies were obtained. Dependencies obtained can be used for consultations. To determine the maximum flow at the Aghavnadzor post of the Marmarik River, a multifactorial correlation close relationship was obtained, which can be used to compile operational forecasts of the maximum flow in this river site.

The absolute values of the maximum river flow of the Marmarik River at Aghavnadzor are estimated for different scenarios of climate change. For different scenarios and cases in the Marmarik River basin, a different degree of changes in the maximum flow might be expected. Moreover, the largest decrease in the maximum runoff of the Marmarik River basin is expected under the conditions of an increase in the average air temperature of the spring season by 2.7–3.9 and a decrease in the amount of spring atmospheric precipitation by 2.4–2.6%.

As a result of the study, it turned out that in the study area there is only a tendency to decrease the values of maximum water discharge which is the result of both human activities and climate change.

**Keywords:** *maximum discharge, long-term fluctuations, prediction, multiple correlations, Marmarik River.*

## REFERENCES

- Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. Kurs gidrologicheskikh prognozov [The course of hydrological forecasts]. Leningrad : Hydrometeoizdat, 1974. 422 p. In Russian
- Gareev A.M., Zaytsev P.N. Mnogoletnyaya izmenchivost' maksimal'nogo stoka vesennego polovod'ya malykh i srednikh rek Bashkirskogo Predural'ya [Long-term peak discharge variability during spring floods in small and medium-sized rivers of the Bashkir (Cis-Urals)] // Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. V. 21(1). 2016. pp. 75–82. In Russian.
- Georgiyevsky Yu.M., Shanochkin, S.V. *Gidrologicheskie prognozy* [Hydrological forecasts]. A textbook. St. Petersburg, RSHU Publishers, 2007. 436 p. In Russian
- Gidrografiya Armyanskoy SSR* [Hydrography of ASSR]. Yerevan : Publ. house of the Academy of Sciences of ASSR, 1981. 177 p. In Armenian
- Margaryan V.G. *Metodika dolgosrochnogo prognozirovaniya vegetacionnogo i godovogo stoka vodomernogo posta Ankavan reki Marmarik* [The method of long-term forecasting of vegetation period and annual flow of Marmarik River - Hankavan water measuring point]. Modern problems of applied geology and geography. A collection of articles devoted to the 90<sup>th</sup> anniversary of professor P.S. Boshnaghyan. 18–19 of November, 2010. Yerevan, Publishing YSU, 2011. pp. 95–103. In Armenian
- Margaryan V.G. *Osobennosti formirovaniya i vnutrigodovogo raspredeleniya stoka reki Marmarik* [Features of runoff formation and its within-year distribution in Marmarik River]. Modern problems of geology, geography and ecology. A collection of scientific papers devoted to the 70<sup>th</sup> anniversary of docent E.Kh. Kharazyan. 14–16 of November, 2012. Publishing Tigran Mets, 2014. pp. 226–240. In Armenian
- Margaryan V.G., Vardanyan T.G. *Zakonomernosti prostranstvenno-vremennogo raspredeleniya stoka vesennih polovodij reki Marmarik* [Regularities of spatiotemporal of spring flood runoff of river Marmarik]. Scientific notes of the Yerevan State University, № 1, Geology and geography. Yerevan : Publishing House of Yerevan State University, “Lusabats”, 2011. pp. 30–39. In Armenian
- Nastavlenie po sluzhbe prognozov* [Manual on Service forecast], Section, 3, Part 1. Forecasts regime of surface waters. Leningrad : Hydrometeoizdat, 1962. 193 p. In Russian
- Popov E.G. *Gidrologicheskie prognozy* [Hydrological forecasts]. Leningrad : Hydrometeoizdat, 1979. 256 p. In Russian
- Resursy poverhnostnykh vod SSSR* [Surface-Water Resources of the USSR]. Volume 9, issue. 2, Basin p. Araks. Leningrad : Hydrometeoizdat, 1973. 471 p. In Russian
- Safina G.R., Golosova V.N. *Vliyaniye izmeneniy klimata na vnutrigodovoye raspredeleniye stoka malykh rek yuzhnoy poloviny Yevropeyskoy territorii Rossii* [The effect of climate change on the annual flow distribution of small rivers in the southern half of the European Territory of Russia] // Proceedings of Kazan University, natural Sciences Series. 2018, 160 (1). pp. 111–125. In Russian
- Fizicheskaya geografiya Armyanskoy SSR* [Physical Geography of the Armenian SSR]. Yerevan: Publishing House of the Arm. SSR Academy of sciences. 1971. 470 p. In Armenian
- Shaginyan M.V. *Osnovnye zakonomernosti formirovaniya jelementov stoka rek Armjanskoy SSR i metodika ih prognozirovaniya* [The main laws of formation of the flow elements of the rivers of the Armenian SSR and the method of their forecasting]. Leningrad : Hydrometeoizdat, 1981. 176 p. In Russian
- Armenia's Third National Communication on Climate Change. Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia. Yerevan: Lusabats. 2015. 165 p.
- Complex Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources of Marmarik River Basin of Armenia. Prepared in the frame of the “Enabling Activities for the Preparation of Armenia’s Second National Communication to the UNFCCC” UNDP/GEF/00035196 Project. Yerevan : 2009. 16 p.
- Margaryan V.G. Marmarik Rivers Runoff in Global Warming Climate Conditions. Abstracts of the 32th International Geographical Congress “Down to Earth”, Cologne, Germany, 2012. pp. 42–43.
- Margaryan V.G. Assessment and management challenge of maximum river flow of the spring flood risk of Marmarik Rivers // *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia*: The scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. 2018. № 4 (51). pp. 56–63
- Vardanian T.G. Specific features of extreme maximum river runoffs in the context of global climate change (case study of the rivers of the republic of Armenia). *Uchenyye zapiski RGGMU. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*. 2017. № 46. pp. 43–50.

## Author:

**Margaryan Varduhi G.**, Cand.Sci. (Geogr.), Assistant Professor, Department of Physical Geography and Hydrometeorology, Faculty of Geography and Geology Yerevan State University, Yerevan, Armenia  
E-mail: vmargaryan@ysu.am