

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АРПА

В.Г. Маргарян<sup>1</sup>, Е.В. Гайдукова<sup>2</sup>, Л.В. Азизян<sup>3</sup>, А.Э. Мисакян<sup>3</sup>

E-mail: vmargaryan@ysu.am

<sup>1</sup> *Ереванский государственный университет, г. Ереван, Республика Армения*

<sup>2</sup> *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *«Центр гидрометеорологии и мониторинга» ГНУ, Министерство окружающей среды Республики Армения, г. Ереван, Республика Армения*

**АННОТАЦИЯ:** Рассмотрены основные физико-географические факторы, влияющие на сток весеннего половодья рек бассейна Арпа, проанализированы закономерности их пространственно-временного распределения. Получены корреляционные связи между значениями слоя стока половодья, среднего модуля максимального стока и средневзвешенной высоты водосборного бассейна р. Арпа, между среднегодовым максимальным модулем стока за период половодья и площадью водосборов рек. Эти зависимости можно использовать для предварительных оценок стока весеннего половодья неизученных рек рассматриваемой территории. Выявлена также тесная корреляционная связь между величинами годового стока и стока весеннего половодья в створе р. Арпа – пос. Джермук, которую можно использовать для прогнозной оценки годового стока.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** весеннее половодье, водный режим, пространственно-временные распределения, водные ресурсы, бассейн р. Арпа, Республика Армения.

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Республики Армения и Российского фонда фундаментальных исследований в рамках совместной научной программы 20RF-039 «Краткосрочный вероятностный прогноз стока рек в период весеннего половодья» и № 20-55-05006\20 соответственно.

Половодье как фаза водного режима играет важную роль в формировании речного стока в течение всего года, определяя потенциальные запасы воды в период летне-осенней межени и характер прохождения дождевых паводков в случае выпадения значительного количества жидких осадков [1]. Механизм формирования речного стока, в частности, в период весеннего половодья, и использование зависимостей для прогнозирования опасных гидрологических явлений с целью предотвращения их неблагоприятных последствий являются важнейшими объектами научных

© Маргарян В.Г., Гайдукова Е.В., Азизян Л.В., Мисакян А.Э., 2021

исследований в области гидрометеорологии и обеспечения устойчивого развития регионов [2].

Весеннее половодье – основная фаза водного режима рек бассейна Арпа, за этот период проходят максимальные расходы и значительная часть годового стока (в среднем около 50 % и более от общего объема). Для стабильного развития экономики необходима научная оценка влияния весенних половодий, специфики их формирования, особенно в контексте изменения климата.

Вопросы формирования весеннего половодья на реках Армении рассматривались в работах М.В. Шагинян [3], монографиях [4, 5] и т. д. В отличие от перечисленных работ, в данном исследовании использованы ряды фактических наблюдений, полученные после 1981 г. Цель исследования – определение и анализ характеристик весеннего половодья рек бассейна р. Арпа, а также оценка особенностей формирования весеннего половодья на рассматриваемых реках.

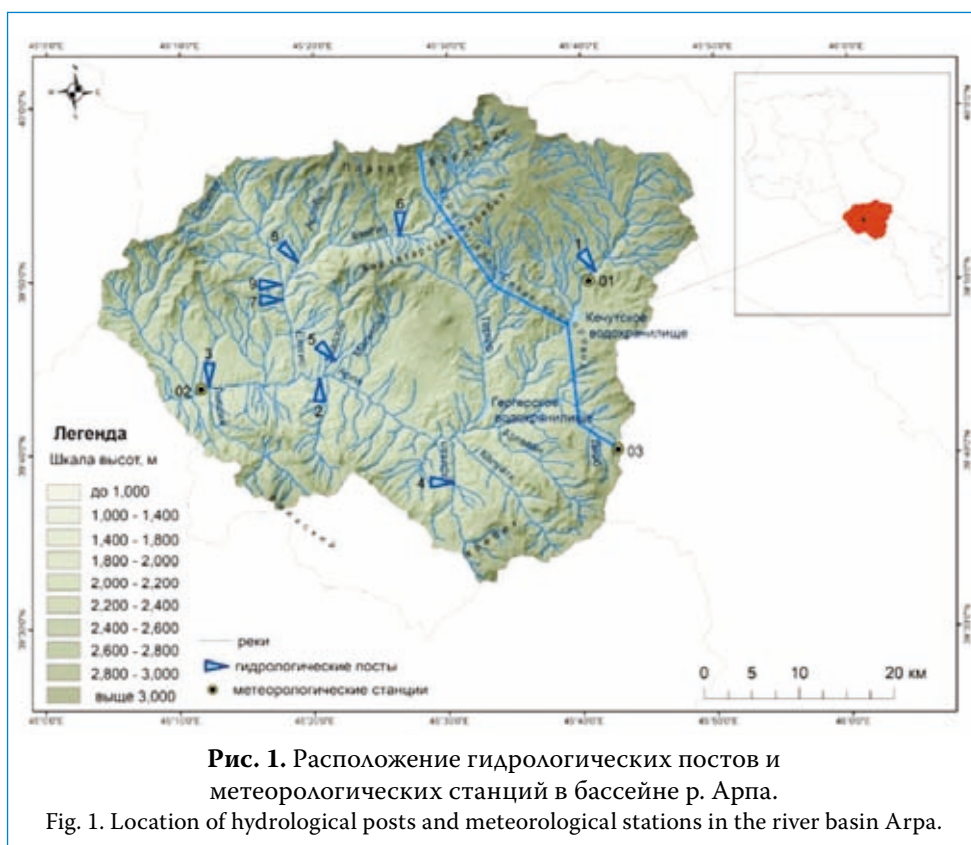
#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретической и информационной основами исследования явились результаты работы [2]. В качестве исходного материала использованы фактические наблюдения «Центра гидрометеорологии и мониторинга» ГНКО Министерства окружающей среды Республики Армения за 1981–2019 гг. Нижнее ограничение в периоде 1981 г. объясняется введением в эксплуатацию водохранилища, построенного в бассейне р. Арпа.

В бассейне р. Арпа гидрологические и метеорологические исследования проводились на водомерном посту Арени – р. Арпа с 1931 г., а на посту Ехегнадзор – с 1933 г. В период с 1930 по 2021 гг. в бассейне р. Арпа, в общей сложности, действовало 43 гидрометрических поста, у 12 из них период наблюдения составляет не более четырех лет, сравнительно продолжительные ряды наблюдений имеют только 10 постов. В настоящее время в бассейне р. Арпа, выше водохранилища, действует только девять гидрологических постов и три метеостанции (рис. 1, табл. 1, табл. 2), ряды наблюдений на которых использованы в данном исследовании стока весеннего половодья.

В изданиях Государственного водного кадастра (ГВК) «Основные гидрологические характеристики» и «Многолетние данные о ресурсах поверхностных вод» опубликованы данные о слоях стока весеннего половодья за период с начала наблюдений на постах по 1980 г. [6–9]. С 1981 г. для расчета характеристик весеннего половодья использовались гидрологические ежегодники, где публикуются данные ежедневных расходов воды [10].

Выделение периода половодья связано с определением даты его начала и окончания и регламентируется методическими рекомендациями [11]. За



дату начала половодья принимается первая дата с заметным увеличением расхода воды, предшествующая, как правило, дате с резким повышением уровня и расхода. За окончание – дата на спаде половодья, после прохождения основного объема талых вод, когда интенсивность спада резко снизилась и отчетливо обозначился переход к летней межени, или дата, соответствующая переломной точке на гидрографе, отделяющая фазу спада от наступившего вслед за ней дождевого паводка. Продолжительность половодья в сутках считается от даты начала половодья до даты его окончания включительно.

В части определения этих дат методические рекомендации носят описательный характер и не содержат численных критериев для выделения. Так, для даты начала половодья указано, что «...за начало половодья принимается первый день с заметным увеличением расхода воды, предшествующий резкому повышению уровня...». При определении даты окончания половодья следует ориентироваться на «...день в конце кривой спада, когда

**Таблица 1.** Основные гидрометрические и гидрологические характеристики рек бассейна р. Арпа и их водосборов  
 Table 1. Main hydrometric and hydrological characteristics rivers of the Arpa basin and their catchments

Река – пункт	Расстояние от устья, км	Уклон реки, ‰		Основные характеристики водосбора			Среднегодовой расход воды, м <sup>3</sup> /с
		средний от наиболее удаленной точки	средне-взвешенный от наиболее удаленной точки	площадь, км <sup>2</sup>	средняя высота, м	средний уклон, ‰	
Арпа – Джермук	105	52	48	199	2790	188	5,15
Арпа – Ехегнадзор	56	30	22	1220	2140	–	7,75
Арпа – Арени	40	26	20	1880	2110	–	26,9
Вайк – Заритап	6.5	94	85	58,0	2280	257	0,45
Гладзор – Вернашен	8.4	153	122	19,8	2300	407	0,14
Ехегис – Эрмоне	24	71	55	205	2630	308	3,67
Ехегис – Шатин	10	57	43	458	2350	337	6,01
Артабун – Артабуйнк	4.0	127	125	45,0	2460	369	0,92
Салигет – Шатин	0.6	73	59	144	2070	346	1,99

интенсивность спада уже резко снизилась в результате окончания стока основных объемов талых вод», причем ситуация усложняется за счет наличия двух основных типов гидрографов – одновершинных и многопиковых. Существуют попытки автоматизации определения границ половодья, например, в работе [12] предложены численные критерии, на основе которых рассчитаны ретроспективные характеристики весеннего половодья и проведена оценка предложенной методики расчета слоя стока на примере средних рек Российской Арктики.

В данном исследовании применены метод математико-статистического анализа, метод сопоставления и сравнения, экстраполяции и корреляции, комплексный географо-гидрометеорологический анализ.

Река Арпа – крупный левый приток р. Аракса, четвертая по длине в Республике Армения. Длина р. Арпа – 128 км, общая площадь водосбора

2630 км<sup>2</sup>, по территории Армении протекает 92 км. На изучаемом бассейне р. Арпа густота речной сети в среднем составляет 1,11 км/км<sup>2</sup>, на территории Армении – около 0,8 км/км<sup>2</sup>. Главные притоки р. Арпа – реки Ехегис (длина 47 км, площадь водосборного бассейна 516 км<sup>2</sup>), Дарб (22 км и 164 км<sup>2</sup>), Гергер (28 км и 174 км<sup>2</sup>). В табл. 1 представлены основные гидрометрические и гидрологические характеристики рек бассейна Арпа и их водосборов.

Река Арпа берет начало с северо-западного склона Сюникского нагорья на высоте 3260 м, главный ее приток Ехегис – на южном склоне Варденисского хребта, 3050 м. Устье находится на высоте 960 м. Река Арпа в верхнем и среднем течениях и ее притоки имеют особенности, присущие горным рекам: проходят по крупным ущельям и долинам, изрезанным притоками и оврагами.

Бассейн Арпы – это широкая и длинная долинная котловина. Бассейн сложен в основном вулканогенными породами, в верхней части преобладают андезито-базальты четвертичного возраста, распространены андезиты, туфы, туфобрекчии третичного периода. Ниже с. Арени Арпа выходит в область предгорий, где вулканогенная толща сменяется дислоцированными осадочными породами – известняками, песчаниками, сланцами и кварцитами палеозоя. Постепенно понижаясь к югу и юго-востоку, предгорья переходят в Приараксинскую низменность (800–900 м) [13].

Климат бассейна р. Арпа, в целом, континентальный: характерны холодная или умеренно холодная зима и жаркое лето. Максимальная температура воздуха может доходить до +42,6 °С, минимальная до –30,0 °С. Количество осадков типично для сухого континентального климата. Годовая сумма осадков в среднем находится в диапазоне от 374 до 764 мм. Зима в бассейне р. Арпа сравнительно малоснежная. Распространение осадков в зимние месяцы неравномерно (табл. 2).

На высотах верхнего течения р. Арпа образовались водопады Джермук (высотой более 60 м) и Гергер. Около г. Джермук построено водохранилище Кечут, вода из которого по водопроводу подается в оз. Севан.

Особенности временного распределения стока весеннего половодья определяются по годовым изменениям основных составляющих водного баланса, которые в горных странах подчиняются закону высотной поясности. Большое воздействие имеет также величина водосборного бассейна реки, структура площади, геологическая структура, почвенно-растительный покров, локальные особенности, антропогенные и другие факторы. В настоящее время возросло воздействие хозяйственной деятельности на внутригодовой режим стока из-за нарушения основного состояния водных объектов, это приводит к перераспределению стока за год.

**Таблица 2.** Среднемноголетние фактические значения метеорологических характеристик за период 1981–2019 гг. на метеорологических станциях бассейна р. Арпа  
 Table 2. Average long-term actual values of meteorological characteristics for the period 1981–2019 at meteorological stations of river basin Arpa

Станция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<b>Средняя температура воздуха, °С</b>													
Джермук	-7,0	-6,0	-1,6	4,2	8,9	13,4	16,6	16,9	13,1	6,9	0,2	-4,7	5,1
Арени	-2,0	1,2	6,6	12,7	17,4	22,9	26,8	26,5	21,7	14,3	6,8	0,1	12,9
Воротанский перевал	-8,3	-7,7	-4,0	1,8	6,9	11,2	13,7	14,1	11,4	5,7	-1,2	-6,2	3,1
<b>Абсолютная максимальная температура воздуха, °С</b>													
Джермук	11,5	11,7	17,0	24,2	26,2	29,6	31,9	33,8	31,0	24,2	16,9	14,7	33,8
Арени	17,5	19,6	27,0	33,6	34,7	39,4	42,6	41,6	39,3	32,6	25,8	18,5	42,6
Воротанский перевал	5,5	8,5	10,5	21,5	24,3	26,6	30,0	30,2	27,8	20,3	12,6	9,8	30,2
<b>Абсолютная минимальная температура воздуха, °С</b>													
Джермук	-24,7	-29,0	-30,0	-18,4	-6,6	-1,2	2,9	2,0	-5,2	-10,0	-20,0	-25,3	-30,0
Арени	-20,7	-20,0	-21,6	-7,7	0,9	5,7	11,2	9,8	3,3	-1,3	-8,2	-22,4	-22,4
Воротанский перевал	-24,4	-27,5	-23,8	-16,3	-7,5	-1,4	2,1	2,1	-4,8	-10,5	-15,4	-22,3	-27,5
<b>Количество атмосферных осадков, мм</b>													
Джермук	68,3	68,7	83,8	98,1	99,8	66,2	41,0	24,4	28,5	61,0	60,6	63,4	764
Арени	32,7	31,2	45,8	58,4	51,0	28,6	19,2	9,89	10,8	33,4	26,6	27,3	374
Воротанский перевал	46,9	44,1	53,7	76,3	87,0	63,3	41,9	24,6	25,6	51,3	48,0	44,1	619
<b>Относительная влажность, %</b>													
Джермук	76	75	73	72	72	69	67	63	63	71	74	77	71
Арени	73	67	60	58	59	50	47	46	51	62	68	73	60
Воротанский перевал	84	84	84	82	80	79	78	76	73	78	83	84	80
<b>Дефицит влажности, гПа</b>													
Джермук	0,96	1,11	1,66	2,76	3,89	5,70	7,33	8,60	6,98	3,62	1,91	1,13	3,81
Арени	1,69	2,56	4,66	7,27	9,75	16,1	21,1	21,1	14,8	7,42	3,72	1,93	9,32
Воротанский перевал	0,60	0,59	0,84	1,56	2,38	3,32	4,13	4,75	4,55	2,51	1,15	0,72	2,24
<b>Скорость ветра, м/с</b>													
Джермук	0,8	1,0	1,3	1,6	1,8	2,3	2,8	2,7	1,9	1,3	1,0	0,7	1,6
Арени	0,8	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,5	1,5	1,2	1,0	0,9	0,9	1,1
Воротанский перевал	4,1	4,4	4,5	4,6	4,8	5,7	6,8	6,7	5,2	4,5	4,1	4,1	5,0

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс формирования и характер водного режима рек бассейна весьма сложен и разнообразен и зависит от многих факторов. Среди них наибольшее значение имеют климатические различия, особенности теплового и водного баланса бассейна рек и их питания, взаимосвязь поверхностных и подземных вод, местных факторов и т. д. [3–5, 14]. Существенно при этом влияние распределения водосборных площадей по высотным зонам, средней высоты бассейнов, изрезанности поверхности водосборов, обуславливающей затяжной характер таяния снега, что отражается на условиях формирования половодья. Таким образом, формирование весеннего половодья в основном определяется природными условиями, а различия год от года, в первую очередь, – состоянием погоды и ее изменениями.

Важными метеорологическими элементами в формировании стока весеннего половодья р. Арпа являются температура воздуха и атмосферные осадки. Особенно велика роль осадков, выпавших в виде снега. Большое значение имеет также приток тепла, запас воды в снеге, накопленном в речном бассейне перед весенним половодьем. Характер таяния снега весной также влияет на величину и срок прохождения максимального стока. В многоводные годы участие талых снеговых вод в формировании половодья составляет до 70–80 % от общего объема [5], в маловодные их доля снижается в среднем до 40–50 % из-за увеличения доли осадков и подземной составляющей. Талые и дождевые воды составляют 80–90 % от общего стока за половодье, подземный сток 10–20 %.

Территория бассейна р. Арпа характеризуется неравномерным пространственным и временным распределением водных ресурсов. Для рек рассматриваемой территории свойственно половодье (март–июнь), летне-осенняя (июль–ноябрь) и зимняя (декабрь–февраль) межени. За время половодья по рекам бассейна р. Арпа в среднем проходит около 55–69 % общего объема стока за год (табл. 3). Половодье сменяется летне-осенней и зимней меженью с 35–41 % стока. Средний объем весеннего половодья колеблется от 3,00 млн м<sup>3</sup> (р. Гладзор – п. Вернашен) до 277 млн м<sup>3</sup> (р. Арпа – п. Арени). В ряде случаев, при образовании больших запасов снега в горах, объем стока в период прохождения весеннего половодья может в 2–3 раза превысить средние многолетние значения.

Половодья рек бассейна р. Арпа наступают и заканчиваются неодновременно, т. к. обусловлены влиянием многих факторов, поэтому даты половодья могут отклоняться от среднемноголетних. Сроки начала и окончания, длительность половодья для горных рек зависят в основном от условий питания рек, высотного расположения их водосборов, синоптических

**Таблица 3.** Основные характеристики весеннего половодья в бассейне р. Арпа за период 1981– 2020 гг.

Table 3. The main characteristics of the spring flood in the basin of the river. Arpa

Река – пост	Половодье						Максимальный сток			
	Дата (день, месяц)		продолжительность, дней	средний объем, млн м <sup>3</sup>	слой стока		средний		абсолютный	
	начало	окончание			средний, мм	от годового, %	расход, м <sup>3</sup> /с	модуль, л/с·км <sup>2</sup>	м <sup>3</sup> /с	день, месяц, год
р. Арпа – п. Джермук	05/04	10/07	97	95,5	526	58	41,3	208	91,0	17.05.1983
р. Арпа – п. Ехегнадзор	28/03	02/07	85	138	118	55	64,6	53,0	131	28.04.1997
р. Арпа – п. Арени	23/03	04/07	98	277	147	62	115	61,2	199	18.04.1988
р. Вайк – п. Заритап	01/04	19/06	80	9,85	170	63	5,84	101	11,6	14.05.1983
р. Гладзор – п. Вернашен	25/03	06/06	74	3,00	151	67	1,82	91,9	8,26	10.06.1986
р. Ехегис – п. Эрмоне	20/03	29/06	101	81,3	397	67	28,4	139	48,6	14.05.1982
р. Ехегис – п. Шатин	21/03	01/07	103	134	283	69	48,0	105	90,0	31.05.2011
р. Артабун – п. Артабуйнк	25/03	27/06	95	17,4	386	58	5,35	119	11,5	28.05.2004
р. Салигет – п. Шатин	22/03	26/06	96	41,1	287	62	16,6	115	34,0	04.05.2019

процессов и климатических условий года, в частности, характера весны (дружной или затяжной, ранней или запоздалой).

В бассейне р. Арпа водосборные площади рек находятся в пределах от 19,8 км<sup>2</sup> (р. Гладзор – п. Вернашен) до 1880 км<sup>2</sup>, средневзвешенная высота – от 2070 м (р. Салигет – п. Шатин) до 2790 м (р. Арпа – п. Джермук), а средний уклон водосборов варьирует от 188 ‰ (р. Арпа – п. Джермук) до 407 ‰ (р. Гладзор – п. Вернашен). Начало половодья обычно совпадает с повышением температуры воздуха с момента устойчивого перехода ее к

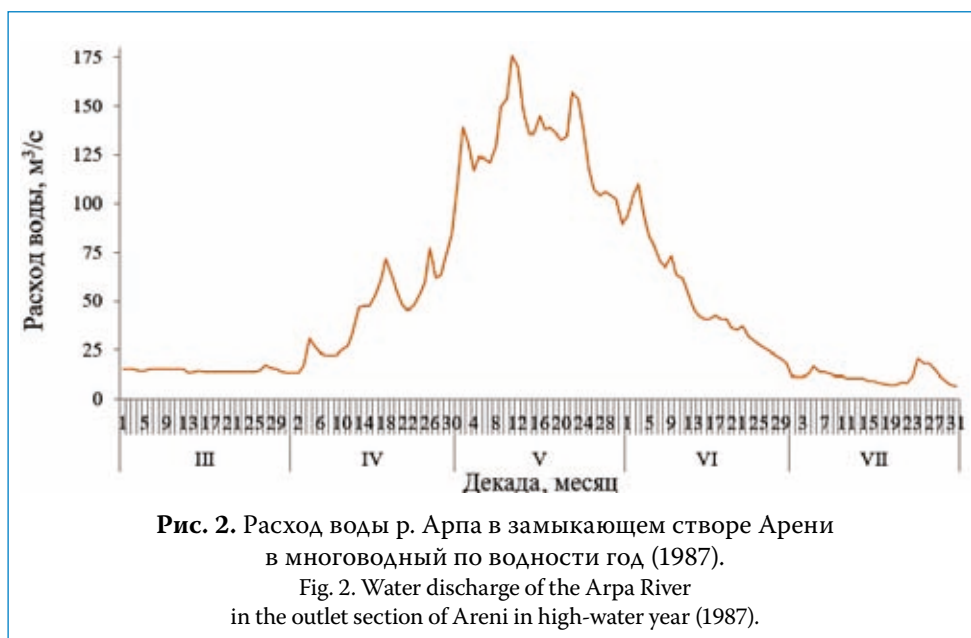


положительным значениям. На изучаемой территории весеннее половодье начинается во второй половине марта, иногда с середины февраля и заканчивается во второй половине июня, порой – в середине июля. Средняя продолжительность половодья колеблется в пределах от 74 до 103 дней, т. е. 2,5–3,5 месяца.

Максимальные расходы воды в бассейне р. Арпа преимущественно проходят именно в период весеннего половодья. Абсолютные максимальные расходы варьируют в диапазоне от 8,26 до 199 м<sup>3</sup>/с, средние максимальные расходы – от 1,86 до 116 м<sup>3</sup>/с. Во время половодья почти все притоки р. Арпа могут превратиться в селеносные потоки, которые в данном речном бассейне не приобретают большой силы. Наибольший максимальный расход, наблюдавшийся 18 апреля 1988 г. в створе п. Арени, составил 199 м<sup>3</sup>/с, а до строительства Кечутского водохранилища 12 мая 1960 г. по реке прошло 280 м<sup>3</sup>/с воды. После строительства водохранилища сток реки урегулировался ниже по течению от рассматриваемых створов.

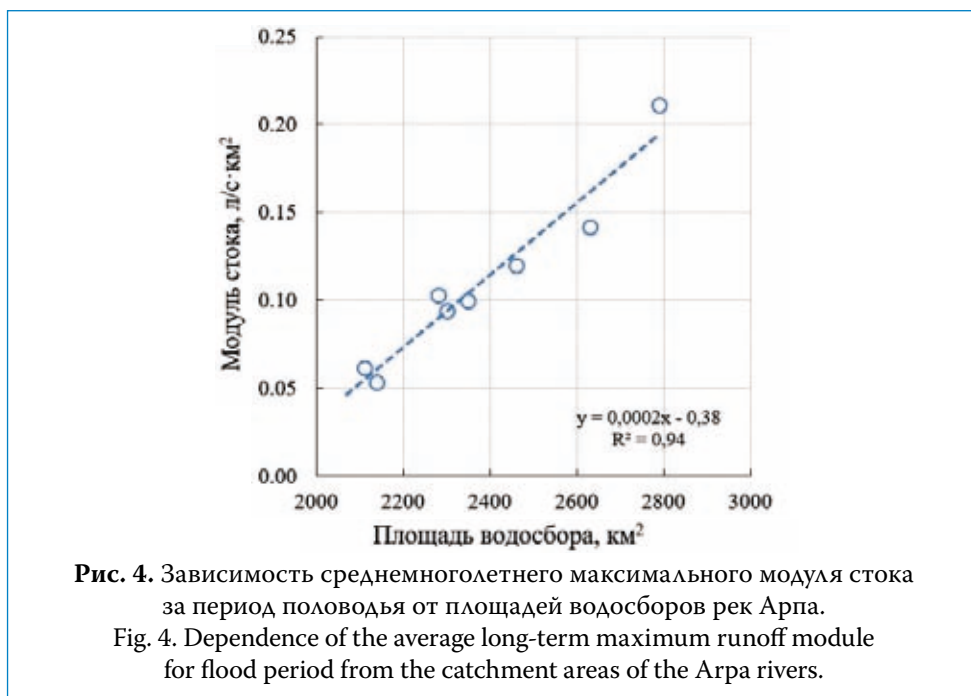
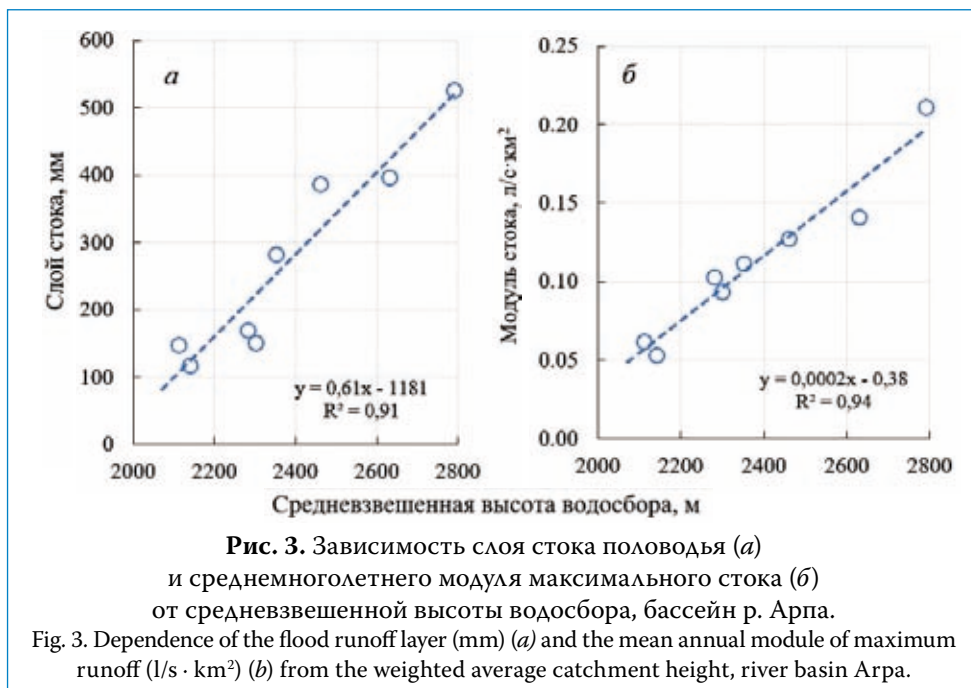
Подъем половодья проходит интенсивно и сопровождается отдельными значительными пиками. При достижении температуры воздуха 4–10 °С начинается подъем уровня основной волны [5]. Продолжительность периода подъема связана с питанием рек, прохождением максимального расхода половодья, в изучаемом створе Джермук она в среднем составляет 45 дней. Спад половодья характеризуется наличием длинного шлейфа из-за выпадения дождей и притока подземных вод. При отсутствии дождей формируется более плавно. Продолжительность периода спада половодья длится дольше (в среднем около 50 дней) по сравнению с продолжительностью подъема и зависит, в основном, от типа питания, геологических и гидрогеологических особенностей, высотного положения водосборного бассейна.

Весеннее половодье имеет вид хорошо выраженной волны, сформированной талыми снегами, дождевыми и подземными водами (для примера, рис. 2). При дружном развитии синоптических процессов, обуславливающих значительное повышение температуры воздуха, происходит таяние снега одновременно в нескольких высотных зонах и на сравнительно больших площадях. В этих случаях половодье обычно протекает бурно, отличается высоким подъемом уровня воды и проходит в более короткие периоды, имеет, как правило, одну волну с резко выраженным интенсивным подъемом и более плавным спадом. При затяжной весне и слабом развитии синоптических процессов, сход снежного покрова происходит медленно, талые воды в русла рек поступают с перебоями, создаются условия для потерь талой воды, что приводит к низкому растянутому половодью с несколькими волнами–подъемами.



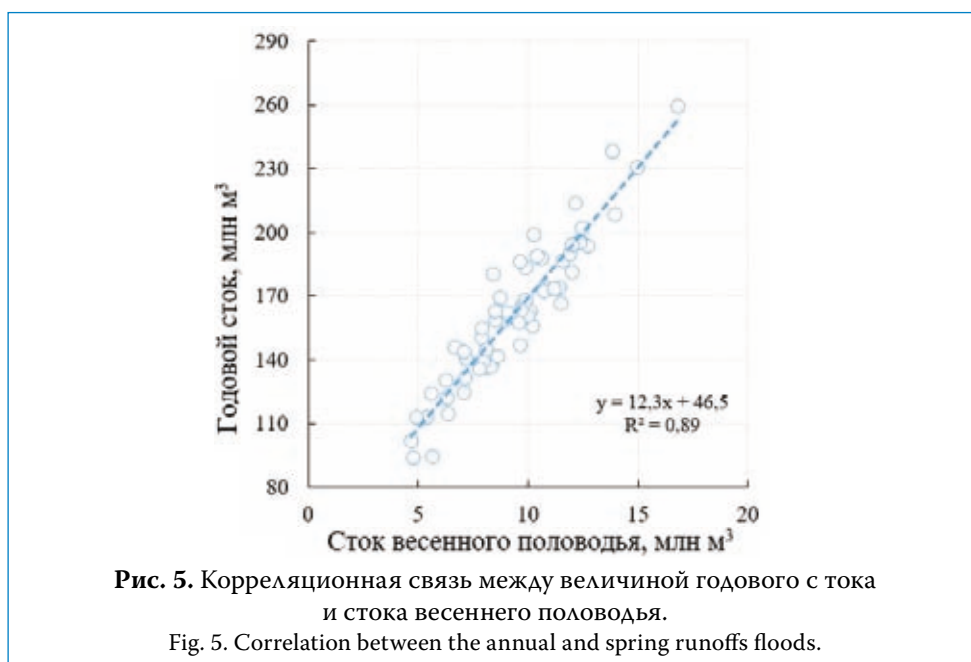
Значение стока весеннего половодья рек бассейна р. Арпа в условиях формирования в высотной поясности во многом зависит от средней высоты бассейна. С ростом средней высоты речного бассейна увеличивается слой стока весеннего половодья – от 80–100 мм ниже высот 2000–2100 м и более 300–400 мм выше 2500 м (рис. 3а) и модуль средне-максимального расхода воды – от 0,05 л/с·км<sup>2</sup> ниже высот 2000–2100 м и более 0,12–0,13 л/с·км<sup>2</sup> выше 2500 м (рис. 3б). Четко выраженной зависимости даты начала и окончания, а также продолжительности половодья от средней высоты бассейна не выявлено. Это обусловлено сложными орографическими особенностями изучаемой территории, а также регулированностью водного режима.

В бассейне р. Арпа наблюдается закономерное увеличение средних максимальных модулей стока за период половодья с увеличением площадей водосборов, зависимости носят линейный характер и подтверждаются значимыми коэффициентами корреляции. С увеличением площадей водосборов увеличивается средний максимальный модуль стока – от 100 л/с·км<sup>2</sup> ниже площадей 400–500 км<sup>2</sup> и более 300 л/с·км<sup>2</sup> выше площадей 1500 км<sup>2</sup>. Полученные зависимости (рис. 3, рис. 4) можно использовать для предварительных расчетов весеннего стока половодья для неизученных рек рассматриваемой территории.



Сток весеннего половодья рек бассейна р. Арпа очень изменчив от года к году и зависит от метеорологических факторов, что необходимо учитывать при планировании рационального использования стока. Сток также изменчив для разных рек и даже для разных участков одной реки (табл. 2). Средний объем весеннего половодья р. Арпа колеблется в широких пределах: от 95,5 млн м<sup>3</sup> (р. Арпа – п. Джермук) до 277 млн м<sup>3</sup> (р. Арпа – п. Арени). Выяснилось, что в замыкающих створах рек бассейна р. Арпа наблюдается тенденция как уменьшения (причем, преимущественно), так и повышения слоя стока и максимальных расходов воды за период половодья. Подобный процесс характерен также для других рек Армении.

С целью оценки воздействия климата, кроме указанных изменений, рассмотрена динамика изменения атмосферных осадков и температуры воздуха. Выяснилось, что для рядов температуры воздуха и количества осадков на указанных метеорологических станциях за обсуждаемый период наблюдается тенденция преимущественно роста этих характеристик [15, 16].



В рамках проведенного исследования получена тесная корреляционная связь между фактическими величинами годового стока и стока весеннего половодья в створе р. Арпа – п. Джермук (рис. 5). Эту связь можно использовать для прогностической оценки величины годового стока в створе Джермук р. Арпа при наличии данных по объему стока весеннего половодья.

## ВЫВОДЫ

Процесс формирования и характер водного режима весеннего половодья рек бассейна р. Арпа весьма сложен и разнообразен: зависит от характера весны, синоптических процессов и климатических условий отдельного года, особенностей теплового и водного баланса бассейна реки, питания рек, взаимосвязи поверхностных и подземных вод, местных факторов.

Бассейн р. Арпа выделяется неравномерным пространственным и временным распределением водных ресурсов. Преобладающее количество атмосферных осадков и поверхностного стока приходится на период весеннего половодья (55–69 % от годового объема стока), а в остальные сезоны (маловодный период) наблюдается острый дефицит влаги, особенно в летний маловодный период, когда требуется большое количество воды для орошения сельскохозяйственных угодий.

На изучаемой территории средняя продолжительность весеннего половодья составляет от 74 до 103 дней. Максимальные расходы воды преимущественно проходят именно в период весеннего половодья. Средний объем весеннего половодья, абсолютные и средние максимальные расходы колеблются в широком диапазоне – от 95,5 до 277 млн м<sup>3</sup>, от 8,26 до 199 м<sup>3</sup>/с и от 1,86 до 116 м<sup>3</sup>/с соответственно. При этом, с ростом средней высоты и площадей водосборов, увеличивается модуль среднемаксимального расхода.

В результате проведенного исследования получена тесная корреляционная связь между величинами годового стока и стока весеннего половодья в створе р. Арпа – п. Джермук, который можно использовать для прогнозной оценки годового стока в данном створе.

Природно-климатические условия изучаемого бассейна позволяют накапливать воды, в основном, только во время весеннего половодья, поскольку в этот период сельскохозяйственные угодья не нуждаются в орошении и по рекам проходит около и более 30–35 % от общего объема годового стока. Необходимо наиболее рационально использовать водные ресурсы изучаемого бассейна р. Арпа, а также заблаговременно прогнозировать опасные гидрологические явления, предупреждая и существенно уменьшая ущерб, причиняемый экономике региона катастрофическими наводнениями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Киреева М.Б., Фролова Н.Л.* Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 1. С. 60–76.
2. *Паромов В.В., Шумилова К.А., Гордеев И.Н.* Условия формирования половодья большой водности и прогноз наводнения на реке Абакан // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 11. С. 57–67

3. Шагинян М.В. Основные закономерности формирования элементов стока рек Армянской ССР и методика их прогнозирования. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 176 с.
4. Гидрография Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1981. 177 с. (на арм. яз.).
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 9. Бассейн р. Аракса, вып. 2 / ред. А.П. Муранова. М.: Гидрометеиздат, 1973. 472 с.
6. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. XIII. Армянская ССР. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 304 с.
7. Основные гидрологические характеристики. Т. 9. Закавказье и Дагестан. Вып. 2. Армения / под ред. С.М. Мусаеляна. Л.: Гидрометеиздат, 1967, 232 с.
8. Основные гидрологические характеристики (за 1963–1970 гг. и весь период наблюдений). Т. 9. Закавказье и Дагестан. Вып. 2. Армения / под ред. А.Е. Восканяна. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 276 с.
9. Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 9. Закавказье и Дагестан. Вып. 2. Армения / под ред. М.О. Оганисяна, А. М. Нерсесяна. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 160 с.
10. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод и суши (ЕДС) (данные с 1981 года по текущий год).
11. Методические указания по ведению Государственного водного кадастра. Раздел 1, Поверхностные воды, вып. 4, составление и подготовка к печати изданий серии 3 «Многолетние данные». Ч. 1. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 81 с.
12. Шевнина Е.В. Методика расчета характеристик весеннего половодья по данным ежедневных расходов воды // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 1 (95). С. 44–50.
13. Физическая география Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1971. 470 с. (на арм. яз.).
14. Маргарян В.Г. Геолого-гидрогеологическое строение и состав почвогрунта речных бассейнов как важный фактор формирования речного стока территории (на примере речного бассейна р. Дебед) // Горные науки и технологии. 2018. № 4. С. 3–9. DOI: 10.17073/2500–0632–2018–4–3–9.
15. Маргарян В.Г. Закономерности временных изменений стока многоводного периода рек бассейна реки Арпа в контексте устойчивого развития // Геосферные исследования. 2019. № 1. С. 44–53.
16. Маргарян В.Г., Овчарук В.А., Гопций М.В., Боровская Г.А. Сравнительный анализ и оценка многолетних колебаний максимального стока рек горных территорий Армении и Украины в условиях глобальных изменений климата // Устойчивое развитие горных территорий. Т. 12. № 1(43), 2020. С. 61–75. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-1-61-75.

**Для цитирования:** Маргарян В.Г., Гайдукова Е.В., Азизян Л.В., Мисакян А.Э. Особенности формирования весеннего половодья в бассейне реки Арпа // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2021. № 3. С. 126–152. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-3-7.

**Сведения об авторах:**

**Маргарян Вардуи Гургеновна**, канд. геогр. наук, доцент, Ереванский государственный университет, географический и геологический факультет, кафедра физической географии и гидрометеорологии, 0025, Армения, г. Ереван, ул. Алека Манукяна, 1; e-mail: vmargaryan@ysu.am

**Гайдукова Екатерина Владимировна**, канд. техн. наук, доцент, кафедра инженерной гидрологии, Российский государственный гидрометеорологический университет, Институт гидрологии и океанологии, 192007, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, 79; e-mail: oderiut@mail.ru

**Азизян Левон Ваноевич**, канд. техн. наук, и.о. директора, «Центр гидрометеорологии и мониторинга» ГНУ, Министерство окружающей среды, Республика Армения, г. Ереван, ул. Чаренца 46, e-mail: levon\_azizyan@yahoo.com

**Мисакян Амалия Эдвардовна**, канд. техн. наук, руководитель отдела гидрологических прогнозов, «Центр гидрометеорологии и мониторинга» ГНУ, Министерство окружающей среды, Республика Армения, г. Ереван 0054, Давиташен, 4 кв., ул. А. Микояна 109/8, e-mail: miamalya@yandex.ru

## SPECIFIC FEATURES OF SPRING FLOOD FORMATION IN THE ARPA RIVER BASIN

Varduhi G. Margaryan<sup>1</sup>, Ekaterina V. Gaidukova<sup>2</sup>, Levon V. Azizyan<sup>3</sup>, Amalya E. Misakyan<sup>3</sup>

E-mail: vmargaryan@ysu.am

<sup>1</sup> Yerevan State University, Yerevan, the Republic of Armenia

<sup>2</sup> Russian State Hydro/meteorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> «Hydrometeorology and Monitoring Center» SNCO, Yerevan, the Republic of Armenia

**Abstract:** The article considers main physical and geographical factors affecting the runoff, spring flood of rivers in the Arpa River basin, and analyzes the regularities of their space-time distribution. The authors have obtained correlation relationship between the values of the flood runoff layer, the mean module maximum runoff and weighted average height of the catchment area of the Arpa River, between the mean annual maximum runoff module for the period floods and catchment areas of rivers. These dependencies can be used for preliminary estimates of the spring flood runoff of unexplored rivers of the territory under consideration. A close correlation between the values of the annual runoff and the runoff of the spring flood in the section of the Arpa River – Dzhermuk has been also revealed. It can be used for forecasting the annual flow.

**Keywords:** spring flood, formation characteristics, space-time distributions, the Arpa River basin, Republic of Armenia.

**Funding:** This work was supported by the RA Science Committee and Russian Foundation for Basic Research (RF) in the frames of the joint research project SCS 20RF-039 Short-term probabilistic forecast of river flow during the spring flood and RFBR № 20-55-05006\20 accordingly.

The high-water period as a phase of water regime plays an important role in the river runoff formation over the entire year period thus determining potential water reserves for the period of summer/fall low water and the character of rainstorm floods in case of liquid precipitations high quantity [1]. The mechanism of river runoff formation, in particular, during the spring flood period, as well as use of dependencies for prediction of hazardous hydrological phenomena in order to prevent their negative aftermaths are the most important topics of scientific research in the sphere of hydro/meteorology and provision of the regions' sustainable development [2].

Spring flood is the main phase of water regime of the Arpa River basin rivers; maximal flows and the considerable portion of annual runoff (on the average about 50% and more of the total volume) pass over this period. Scientific assessment of the spring flood impact, specific features of their formation, especially in the context of the climate change is necessary for stable development of economy.

Works of M.V. Shaginyan [3], monographs [4,5], etc. discuss issues of the spring flood formation at the rivers of Armenia. In contrast with the listed works, this study has used series



of virtual observations obtained after 1981. The objective of this research is determination and analysis of the spring flood characteristics of Arpa River basin rivers, as well as assessment of special features of the spring flood formation at the rivers under discussion.

### MATERIALS AND RESEARCH METHODS

The outcomes of work [2] are theoretical and information foundations of this study. Virtual observations made by the “Hydrometeorology and Monitoring Center” SNCO of the Ministry of Environment of the Republic of Armenia for 1981–2019. Period termination of 1981 is explained by commission of the reservoir built in the Arpa River basin.

In the Arpa River basin hydrological and meteorological investigations were conducted since 1930s at the Areni water-measuring post at the Arpa River (since 1931), and at Ekhegnadzor post (since 1933). During the period from 1930 to 2021 in the Arpa River basin there were totally 43 active hydrometric posts, 12 out of them have period of observation no longer than four years, only 10 posts have relatively prolonged observation series. At present only nine hydrological posts and three meteorological stations (table 1, table 2) are active in the Arpa River basin upstream of the reservoir and their observation series have been used in this investigation of the spring flood runoff.

**Table 1.** Main hydrometric and hydrological characteristics of the Arpa River basin rivers and their catchments

River – post	Distance from the mouth, km	Slope of river, ‰		Main characteristics of the catchment			Average annual water flow, m <sup>3</sup> /s
		average from the most distant point	weighted mean from the most distant point	area, km <sup>2</sup>	average height, m	average slope, ‰	
The Arpa – Dzhermuk	105	52	48	199	2790	188	5.15
The Arpa – Ekhegnadzor	56	30	22	1220	2140	–	7.75
The Arpa – Areni	40	26	20	1880	2110	–	26.9
The Vaik-Zaritap	6.5	94	85	58.0	2280	257	0.45
The Gladzor – Vernashen	8.4	153	122	19.8	2300	407	0.14
The Ekhegis – Ermone	24	71	55	205	2630	308	3.67
The Ekhegis – Shatin	10	57	43	458	2350	337	6.01
The Artabun-Artabuynk	4.0	127	125	45.0	2460	369	0.92
The Saliget - Shatin	0.6	73	59	144	2070	346	1.99

Publications of the State Water Cadastre (SWC) “Main hydrological characteristics” and “Many-year data on surface water resources” give data on the spring flood runoff layers for the period from beginning of observations at the posts to 1980 [6–9]. Since 1981 hydrological year books where the daily water flow data are published were used for calculation of the spring flood characteristics [10].

Determination of the flood period is associated with determination of its start and end dates, and is regulated by methodical recommendations [11]. The date of the noticeable increase of water flow, which is preceding, as a rule, the date of sharp increase of water level and flow is taken as the date of the flood beginning. The date at the flood fall after passage of the melt water main volume, or the date of evident transition to the summer low-water period or the date corresponding to the turning point on hydrograph, which separates the phase of flood fall from the subsequent rain flood, is considered the date of the flood end. The flood duration in days is agreed to be calculated from the date of the flood beginning to the date of its ending, inclusive.

The methodical recommendations in respect of these dates determination are purely descriptive and do not contain numerical criteria for their identification. Thus, as for the date of the flood beginning it is indicated: “... the first day with the water flow noticeable increase preceding the sharp level elevation is to be considered the flood beginning...” When determining the flood ending date it is recommended to fix the “... day at the end of flood fall curve, when intensity of fall has sharply decreased as a result of completion of passing of the main volume of melt water,” besides, the situation is deteriorated due to the presence of two main types of hydrograph that is one-peak and multi-peak ones. Attempts have been made to made determination of the flood time limits automatic; for example, in work [12] numerical criteria have been proposed to calculate by them retrospective characteristics of spring flood. Assessment of the propose method of the flood runoff layer has been made with medium rivers of the Russian Arctic as a study case.

In this study we applied the method of mathematical/statistical analysis, the method of juxtaposing and comparison, extrapolation and correlation, and integrated geographical/hydro/meteorological analysis.

The Arpa River is a large left tributary of the Araks River, it is the forth river in terms of length in the Republic of Armenia. The Arpa River length is 128 km, 92 km of them flow on the territory of Armenia; total area of the catchment is 2630 km<sup>2</sup>. At the Arpa basin studied section the river network density is on the average 1.11 km/km<sup>2</sup>, while on the territory of Armenia its density is about 0.8 km/km<sup>2</sup>. The main tributaries of the Arpa are the Ekhegis (47 km long, the catchment area is 516 km<sup>2</sup>), the Darb (22 km and 164 km<sup>2</sup>), and the Gerger (28 km and 174 km<sup>2</sup> rivers. Table 1 presents the main hydrometric and hydrological characteristics of the Arpa River basin rivers and their catchments.

The Arpa River originates from the northwestern slope of the Syunik plateau at the height of 3260 m, its main tributary the Ekhegis flows from the southern slope of the Vardeniss mountain ridge, 3050 m. The mouth is at the height of 960 m. The Arpa River in its upper and middle sections and its tributaries have special features typical for mountain rivers: they flow in large chasms and valleys cut by tributaries and ravines.

The Arpa basin is a wide and long valley depression. The basin is made mostly of volcano-genic rocks, quaternary andesit/basalts are predominate in the upper part; andesits, tertiary tuff/breccias are prevalent. Downstream of the village of Areni the Arpa enters the foothills

**Table 2.** Average long-term actual values of meteorological characteristics for the period 1981–2019 at meteorological stations of the Arpa River basin

Station	Months												Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Average air temperature, °C													
Dzhermuk	-7.0	-6.0	-1.6	4.2	8.9	13.4	16.6	16.9	13.1	6.9	0.2	-4.7	5.1
Areni	-2.0	1.2	6.6	12.7	17.4	22.9	26.8	26.5	21.7	14.3	6.8	0.1	12.9
Vorotan Pass	-8.3	-7.7	-4.0	1.8	6.9	11.2	13.7	14.1	11.4	5.7	-1.2	-6.2	3.1
Absolute maximal air temperature, °C													
Dzhermuk	11.5	11.7	17.0	24.2	26.2	29.6	31.9	33.8	31.0	24.2	16.9	14.7	33.8
Areni	17.5	19.6	27.0	33.6	34.7	39.4	42.6	41.6	39.3	32.6	25.8	18.5	42.6
Vorotan Pass	5.5	8.5	10.5	21.5	24.3	26.6	30.0	30.2	27.8	20.3	12.6	9.8	30.2
Absolute minimal air temperature, °C													
Dzhermuk	-24.7	-29.0	-30.0	-18.4	-6.6	-1.2	2.9	2.0	-5.2	-10.0	-20.0	-25.3	-30.0
Areni	-20.7	-20.0	-21.6	-7.7	0.9	5.7	11.2	9.8	3.3	-1.3	-8.2	-22.4	-22.4
Vorotan Pass	-24.4	-27.5	-23.8	-16.3	-7.5	-1.4	2.1	2.1	-4.8	-10.5	-15.4	-22.3	-27.5
Atmospheric precipitation amount, mm													
Dzhermuk	68.3	68.7	83.8	98.1	99.8	66.2	41.0	24.4	28.5	61.0	60.6	63.4	764
Areni	32.7	31.2	45.8	58.4	51.0	28.6	19.2	9.89	10.8	33.4	26.6	27.3	374
Vorotan Pass	46.9	44.1	53.7	76.3	87.0	63.3	41.9	24.6	25.6	51.3	48.0	44.1	619
Relative humidity, %													
Dzhermuk	76	75	73	72	72	69	67	63	63	71	74	77	71
Areni	73	67	60	58	59	50	47	46	51	62	68	73	60
Vorotan Pass	84	84	84	82	80	79	78	76	73	78	83	84	80
Humidity deficit, hPa													
Dzhermuk	0.96	1.11	1.66	2.76	3.89	5.70	7.33	8.60	6.98	3.62	1.91	1.13	3.81
Areni	1.69	2.56	4.66	7.27	9.75	16.1	21.1	21.1	14.8	7.42	3.72	1.93	9.32
Vorotan Pass	0.60	0.59	0.84	1.56	2.38	3.32	4.13	4.75	4.55	2.51	1.15	0.72	2.24
Wind speed, m/s													
Dzhermuk	0.8	1.0	1.3	1.6	1.8	2.3	2.8	2.7	1.9	1.3	1.0	0.7	1.6
Areni	0.8	0.9	1.1	1.2	1.0	1.3	1.5	1.5	1.2	1.0	0.9	0.9	1.1
Vorotan Pass	4.1	4.4	4.5	4.6	4.8	5.7	6.8	6.7	5.2	4.5	4.1	4.1	5.0

area where volcanogenic rocks are replaced by dislocated sedimentaries such as palaeozoic limestone, sandstone, schist and quartzite. Gradually lowering to the south and the south-east foothills pass to Araks lowland (800–900 m) [13].

The Arpa basin climate is generally continental: cold or moderately cold winter and hot summer are typical for it. Maximal air temperature may reach +42.6 °C, minimal temperature may be –30.0 °C. Amount of precipitation is typical for dry continental climate. Annual total precipitation on the average is within the range from 374 to 764 mm. Winter in the Arpa basin is relatively low-snow. Distribution of precipitation during winter months is non-uniform (table 2).

Dzhermuk (more than 60 m high) and Gerger waterfalls are located on the hills of the Arpa upstream. Near the city of Dzhermuk the Kechut reservoir has been built; water from it is supplied to the Lake Sevan through the water pipeline.

Special features of the spring flood temporal distribution are to be determined by annual changes of the main components of water balance that in mountain regions obey the law of altitudinal zonality. The size of the river basin catchment, the area structure, geological structure, soil/vegetation cover, local features, anthropogenic and other factors also have some influence. At present the economic activities impact on in-year runoff regime increased due to distortion of the water bodies' main status and this results in redistribution of annual runoff.

#### RESULTS OF THE STUDY

The process of formation and character of the basin rivers' water regime is rather complex and variable and depends on many factors. Climatic differences, features of thermal and water balances of the rivers and their replenishment, interaction of surface water and groundwater, and local factors, etc. are the most important among them [3, 4, 5, 14]. At that, catchment territories' distribution by altitudinal zones, average height of basins, catchment surface irregularity, which causes protracted character of snow melting are very important as they are actively involved in the process of flood formation conditions. Thus, the spring flood formation is mostly determined by natural conditions, and differences of one year from the other mostly depend on weather conditions and their changes.

Air temperature and atmospheric precipitation are important meteorological elements of the Arpa River spring flood runoff formation. The role of precipitation in the form of snow is particularly significant. Inflow of heat, water content in snow accumulated in the river basin before spring flood are also critical. The spring snow melting character also affects the amount and duration of the maximal runoff. In high-water years participation of snow melt water in the flood formation is up to 70–80 % of the total volume [5], in low-water years their proportion decreases on the average to 40–50 % because of increase of the precipitants and groundwater components. Snow melt and rain waters form 80–90 % of the total runoff during a flood while groundwater runoff share is 10–20 %.

Territory of the Arpa River basin is characterized by non-uniform spatial and temporal distribution of water resources. Flood (March-June), summer/fall (July-November) and winter (December-February) low-water periods are typical for the territory under consideration. During the flood period about 55–69% of the annual runoff total volume pass along the Arpa basin river (table 3). Flood is replaced by summer/fall and winter low-water period with 35–41% of runoff. Average volume of spring flood varies from 3.00 million m<sup>3</sup> (the Gladzor River – the village of Vernashen) to 277 million m<sup>3</sup> (the Arpa River – the village of Areni). In

some cases, when the snow deposits in the mountains are great, the runoff volume during the period of the spring flood passage can 2-3 times exceed average many-year values.

**Table 3.** The main characteristics of the spring flood in the basin of the Arpa River over the 1981– 2020 period

River – post	Flood						Maximal runoff			
	Date (day, month)		Duration (days)	Average volume, million m <sup>3</sup>	Runoff layer		average		absolute	
	beginning	ending			average, mm	of annual, %	flow, m <sup>3</sup> /s	module, l/s·km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	date, month, year
The Arpa – Dzhermuk	05/04	10/07	97	95.5	526	58	41.3	208	91.0	17.05.1983
The Arpa – Ekhegnadzor	28/03	02/07	85	138	118	55	64.6	53.0	131	28.04.1997
The Arpa – Areni	23/03	04/07	98	277	147	62	115	61.2	199	18.04.1988
The Vaik – Zarithap	01/04	19/06	80	9.85	170	63	5.84	101	11.6	14.05.1983
The Gladzor-Vernashen	25/03	06/06	74	3.00	151	67	1.82	91.9	8.26	10.06.1986
The Ekhegis – Ermone	20/03	29/06	101	81.3	397	67	28.4	139	48.6	14.05.1982
The Ekhegis – Shatin	21/03	01/07	103	134	283	69	48.0	105	90.0	31.05.2011
The Artabun – Artabuynk	25/03	27/06	95	17.4	386	58	5.35	119	11.5	28.05.2004
The Saliget – Shatin	22/03	26/06	96	41.1	287	62	16.6	115	34.0	04.05.2019

Floods at the Arpa River basin rivers start and end not simultaneously as they are subject to many factors' impact, that is why the flood dates can deviate from average many-year dates. Time of commence and completion, duration of the flood for mountain rivers depend mostly on the rivers' feeding conditions, altitudinal location of their catchments, synoptic processes and climatic conditions of the particular year, the spring character in particular (short-time or long-time, early or late).

In the Arpa River basin the rivers' catchments have dimensions in the range from 19.8 km<sup>2</sup> (the Gladzor River – the village of Vernashen) to 1880 km<sup>2</sup>, weighted mean height is from 2070 m (the Saliget River – the village of Shatin) to 2790 m (the Arpa River – the village of Dzhermuk), and average slope of catchments varies from 188 ‰ (the Arpa River – the village

of Dzhermuk) to 407 ‰ (the Gladzor River – the village of Vernashen). Beginning of flood usually coincides with increase of air temperature from the moment of its stable transition to positive values. On the territory under study spring flood starts in the second half of March, sometimes in mid-February and ends in the second half of June, and sometimes in mid-July. Average flood duration varies in the limits from 74 to 103 days that is 2.5–3.5 months.

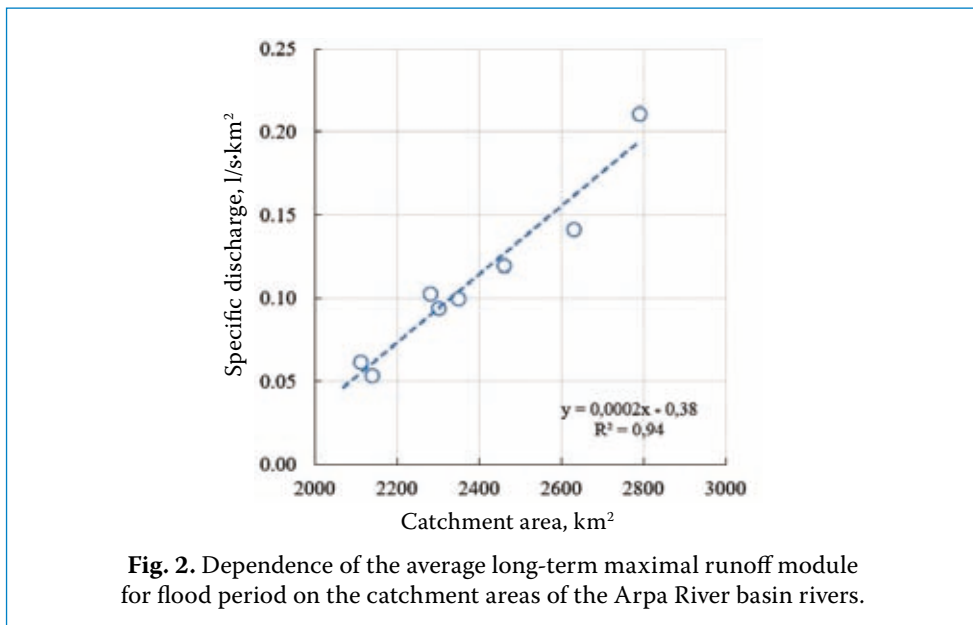
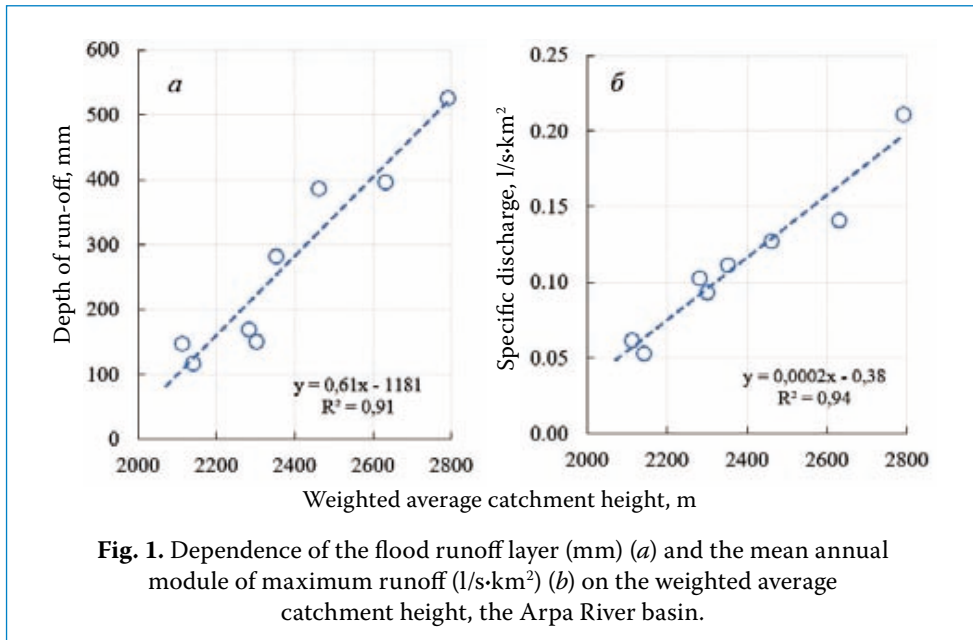
Maximal water flows in the Arpa River basin mainly pass exactly during the spring flood period. Absolute maximal flows vary in the range from 8.26 to 199 m<sup>3</sup>/s, average maximal flows are from 1.86 to 116 m<sup>3</sup>/s. During the flood period almost all tributaries of the Arpa River can turn into mudflows that are not very strong in this river basin. The most maximal flow observed on April 18, 1988 in the range of the village of Areni was 199 m<sup>3</sup>/s, and 280 m<sup>3</sup>/s passed in the river on May 12, 1960 before the Kechut reservoir construction. After the reservoir construction the river runoff was regulated downstream of the ranges under consideration.

The flood rise occurs intensively and is accompanied by separate considerable peaks. When air temperature reaches 4–10 °C the main wave level rise begins [5]. The rise period duration is connected with rivers' feeding, passage of the flood maximal flow, and in the surveyed range of Dzhermuk it is on the average 45 days long. The flood recession is characterized by a long plume because of rains and inflow of groundwater. When there are no rains it forms more smoothly. The flood recession period duration is longer (about 50 days on the average) in comparison with the rise duration and depends mostly on the feeding type, geological and hydrological specific features, and altitudinal location of the catchment basin.

Spring flood has an appearance of distinct wave formed by melt snow, rain water, and groundwater. If synoptic processes develop concurrently and speedy, they cause significant rise of air temperature, thus providing simultaneous snow melt at several altitudinal zones and on relatively large areas. In these cases flood usually is turbulent, is characterized by high rise of water level and occurs during shorter periods with one wave, as a rule, with distinct intensive rise and smoother depression. When spring is protracted and synoptic processes are poorly developed, snow cover disappears slowly, snow melt water is supplied to river beds with interruptions, conditions for snow melt water loss are being created, and all this cause low protracted flood with several rising waves.

Significance of the spring flood runoff of the Arpa River basin rivers in the conditions of altitudinal zoning formation mostly depends on the basin average height. The spring flood runoff layer increases with growth of the river basin average height: from 80–100 mm lower 2000–2100 m height and more than 300–400 mm higher 2500 m (fig. 1a). The same occurs with the water flow average maximal module: from 0.05 l/s·km<sup>2</sup> lower heights of 2000–2100 m and more than 0.12–0.13 l/s·km<sup>2</sup> higher 2500 m (fig. 1b). Clearly defined dependency of the dates of flood start and ending, as well as duration on the basin average height has not been revealed. It is caused by complicated orographic features of the territory under study, as well as regulated water regime.

In the Arpa River basin one can observe regular increase of average maximal runoff modules over the flood period with increase of catchment areas; the dependencies are linear and are vindicated by significant correlation indices. Average maximal runoff module increases with the catchment area increase: from 100 l/s·km<sup>2</sup> lower than 400–500 km<sup>2</sup> areas and more than 300 l/s·km<sup>2</sup> higher than 1500 km<sup>2</sup> areas. The obtained dependencies (fig. 1, fig. 2) can be used for tentative calculations of the spring flood runoff for non-studied rivers of the territory under consideration.

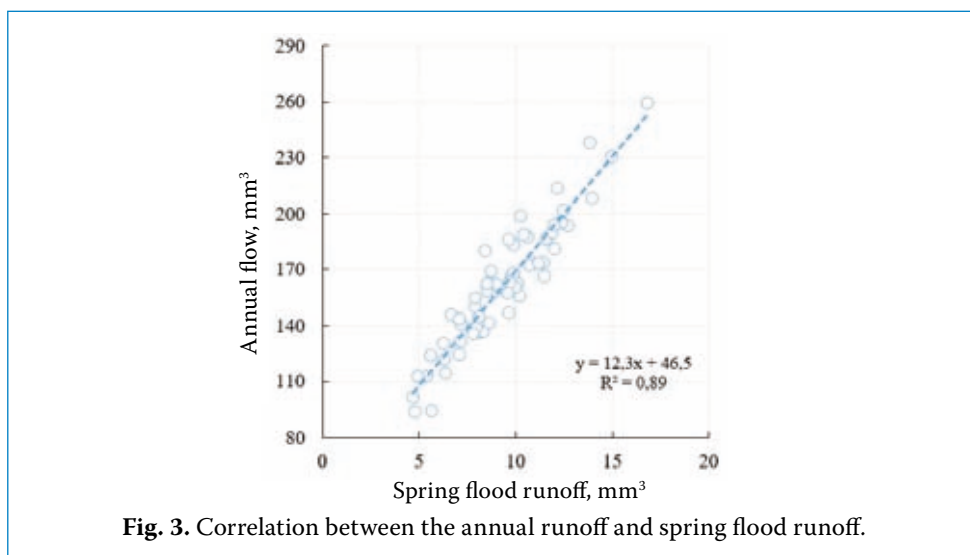


The spring flood runoff of the Arpa River basin rivers is very variable from year to year and it depends on meteorological factors, and this is to be taken into consideration in planning rational use of the runoff. The runoff is also changeable for different rivers and even for differ-

ent sections of the same river (table. 2). The Arpa River spring flood average volume varies in a wide range: from 95.5 million m<sup>3</sup> (the Arpa – Dzhermuk) to 277 million m<sup>3</sup> (the Arpa-Areni). It became clear that at closing ranges of the Arpa River basin rivers there is a trend to both decreasing (at that, predominately) and increasing of the runoff layer and maximal water flows over the flood period. The similar process is typical for other rivers of Armenia, too.

In order to estimate the climate impact we, in addition to the above changes, have considered dynamics of atmospheric precipitation and air temperature changes. It turned out that for series of air temperature and amount of precipitation at the said meteorological stations over the period under consideration one can observe a tendency of primary growth of these characteristics [15, 16].

Within the framework of the conducted study we have obtained the close correlation association between actual values of annual runoff and the spring flood runoff in the Arpa River-Dzhermuk range (fig. 3). This association is possible to use for prognosis estimation of the annual runoff value in the Arpa River-Dzhermuk range provided there are data on the spring flood runoff volume.



**Fig. 3.** Correlation between the annual runoff and spring flood runoff.

### CONCLUSION

Process of the spring flood and water regime character formation of the Arpa River basin rivers is rather complicated and diverse: it depends on the spring character, synoptic processes and climatic conditions of particular year, special features of river basin thermal and water balance, river feeding, interconnection of surface waters and groundwater, as well as other local factors.

The Arpa River basin is notable for its non-uniform spatial and temporal distribution of water resources. Predominant quantity of atmospheric precipitation and surface runoff relates to the spring flood period (55–69 % of annual runoff volume), while sharp moisture scarcity is typical for other seasons (low-water periods). Especially this is felt



during the summer low-water period when a large amount of water is needed for watering of agricultural lands.

Average duration of the spring flood on the territory under consideration is from 74 to 103 days. Maximal water flows mostly pass exactly during the spring flood period. Average volume of the spring flood, absolute and average maximal flows vary in a wide range from 95.5 to 277 million m<sup>3</sup>, from 8.26 to 199 m<sup>3</sup>/s and from 1.86 to 116 m<sup>3</sup>/s, respectively. At that, the average maximal flow module increases with the growth of the catchments average height and areas.

As an outcome of the conducted investigation we have got a close correlation connection between the annual runoff values and the spring flood runoff value in the range of the Arpa-Dzhermuk, which can be applied for forecast estimation of annual runoff in this range.

Natural/climatic conditions of the basin under consideration enable to accumulate water mostly only the spring flood period as during these days agricultural lands do not need irrigation and about 30-35% or more of the total annual runoff volume pass in the rivers. It is necessary to use in the most rational way water resources of the Arpa River basin under study, as well as to forecast hazardous hydrological phenomena in due time, in order to prevent and minimize damage inflicted to the regional economy by catastrophic inundations.

#### **About the author:**

Varduhi G. Margaryan, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology, Yerevan State University. Faculty of Geography and Geology. Alek Manoukian Street 1, Yerevan 0025 Armenia; e-mail: vmargaryan@ysu.am

Ekaterina V. Gaidukova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Hydrometeorological University, Institute of Hydrology and Oceanology, Department of Engineering Hydrology. ul. Voronezhskaya, 79, St. Petersburg, 192007, Russia; e-mail: oderiut@mail.ru

Azizyan Levon Vanoyi, Ph.D in Engineering Acting director: «Hydrometeorology and Monitoring Center» SNCO, Ministry of Environment 46 Charenc, Yerevan, Republic of Armenia, e-mail: levon\_azizyan@yahoo.com

Misakyan Amalya Edvardi, Ph.D in Engineering Head of Hydrological Forecasts Division of Hydrology Service, «Hydrometeorology and Monitoring Center» SNCO, Ministry of Environment 109/8 A. Mikoyan Str. 4th Block of Davitashen, 0054 Yerevan, Republic of Armenia, e-mail: miamalya@yandex.ru

**For citation:** *Margaryan V.G., Gaidukova E.V., Azizyan L.V., Misakyan A.E. Specific Features of the Spring Flood Formation in the Arpa River Basin // Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2021. No. 3. P. 126-152. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-3-7.*

#### **REFERENCES**

1. *Kireyeva M.B., Frolova N.L.* Sovremennyye osobennosti vesennego polovod'ya rek basseyna Dona [Present-day special features of the Don River basin rivers spring tide] // *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologiyi, upravleniye.* 2013. No. 1. Pp. 60–76. (In Russian).
2. *Paromov V.V., Shumilova K.A., Gordeev I.N.* Usloviya formirovaniya polovod'ya bol'shoy vodnosti i prognoz navodneniya na reke Abakan [Conditions of formation

- of highwater flood and flood forecast on the river Abakan] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2016. Vol. 327, No. 11. Pp. 57–67. (In Russian).
3. *Shahinyan, M.V.* Osnovnyye zakonomernosti formirovaniya elementov stoka rek Armyanskoy SSR i metodika ikh prognozirovaniya [The main regularities of formation of the river runoff elements of Armenia and the method of their forecasting]. Leningrad: 1989. 176 p. (In Russian).
  4. *Gidrografiya Armyanskoy SSR* [Hydrography of ASSR]. Yerevan: Academy of Sciences of ASSR, 1981: 177 p. (In Armenian).
  5. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Basseyn r. Araksa* [Resources of surface waters of the USSR. The Araks River basin] / po red. A.P. Muranova. M.: Gidrometeizdat, 1973. Vol. 9. 472 p. (In Russian).
  6. *Mnogoletniye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi* [Long-term data on the regime and resources of land surface waters]. Tom XIII, Armenian SSR. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, 304 p. (In Russian).
  7. *Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki* [Basic hydrological characteristics]. Vol. 9, Transcaucasia and Dagestan. Issue 2, Armenia / Ed. C.M. Musaelyan. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1967, 232 p. (In Russian).
  8. *Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki (za 1963-1970 gg. i ves' period nablyudeniya)* [Basic hydrological characteristics (for 1963-1970 and all observation period)]. T. 9. Transcaucasia and Dagestan. Issue 2, Armenia /Under ed. A.E. Voskanyan. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1975, 276 p. (In Russian).
  9. *Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki (za 1971-1975 gg. i ves' period nablyudeniya)* [Basic hydrological characteristics (for 1971-1975 and all observation period)]. T. 9. Transcaucasia and Dagestan. Issue 2, Armenia /Under ed. M.O. Hovhannisyan, A.M. Nersesyan. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1979, 160 p. (In Russian).
  10. *Yezhegodnyye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod i sushi* [Annual data on the regime and resources of surface water and land (SAD)] (data from 1981 to the current year).
  11. *Metodicheskiye ukazaniya po vedeniyu Gosudarstvennogo vodnogo kadastra* [Guidelines for maintaining the State Water Cadaster]. Section 1, Surface Waters, no. 4, compilation and preparation for printing editions of series 3 «Long-term data». Part 1, Long-term data on regime and resources of land surface waters. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1981, 81 p. (In Russian).
  12. *Shevnina E.V.* Metodika rascheta kharakteristik vesennego polovod'ya po dannym yezhednevnykh rashkhodov vody [Methods of calculation of spring flood runoff characteristics according to the daily discharge data] // Arctic and Antarctic problems. 2013. No. 1 (95), Pp. 44-50. (In Russian).
  13. *Fizicheskaya geografiya Armyanskoy SSR* [Physical Geography of the Armenian SSR]. Yerevan. Publishing House of the Academy of Sciences of Armenia. USSR, 1971. 470 p. (Armenian).
  14. *Margaryan V.G.* Geologo-gidrogeologicheskoye stroyeniye i sostav pochvogrunta rechnykh basseynov kak vazhnyy faktor formirovaniya rechnogo stoka territorii (na primere rechnogo basseyna r. Debed) [Geological and hydrogeological structure of river basins and soil composition as an important factor in the formation of the stream flow of the territory (on the example of the Debed river basin)] // Gornyye nauki i tekhnologii. Mining science and technology. 2018, 4: 3–9. (In Russian).

15. *Margaryan V.G.* Zakonomernosti vremennykh izmeneniy stoka mnogovodnogo perioda rek basseyna reki Arpa v kontekste ustoychivogo razvitiya [The regularities of temporary changes in runoff in the high water period of the Arpa river basin in the context of stable development] // *Geosphere Research*. 2019. № 1. Pp. 44–53. DOI: 10.17223/25421379/9/3. (In Russian).
16. *Margaryan V.G., Ovcharuk V.A., Goptsiy M.V., Borovskaia G.A.* Sravnitel'nyy analiz i otsenka mnogoletnikh kolebaniy maksimal'nogo stoka rek gornyykh territoriy Armenii i Ukrainy v usloviyakh global'nykh izmeneniy klimata [Comparative analysis and estimate of the long-term fluctuations of the river maximum runoff of the mountain territories of Armenia and Ukraine under of global climate change] // *Sustainable development of mountain territories*. Vol. 12. No. 1 (43), 2020. Pp. 61-75. (In Russian).