

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 911.2:556.5

В.Г. Маргарян<sup>1</sup>, Н.Л. Фролова<sup>2</sup>**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗИМНЕГО МИНИМАЛЬНОГО ДЕКАДНОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

В работе обсуждаются результаты анализа изменчивости зимних минимальных декадных расходов воды для 12 постов, имеющих наиболее длинный ряд наблюдений на реках, впадающих в озеро Севан.

На основе статистического анализа определены значения норм зимних минимальных декадных расходов рек, коэффициентов вариации ( $C_v$ ) и асимметрии ( $C_s$ ), построены кривые обеспеченности минимальных расходов воды рек, проведен анализ пространственной и временной изменчивости исследуемых гидрологических характеристик.

Для расчета стока неизученных рек получены корреляционные зависимости между величиной расхода воды и площадью водосбора. Построена карта распределения модуля среднего минимального зимнего стока за декаду.

Исследования показывают, что для зимних минимальных декадных расходов воды рек бассейна озера Севан характерно очень неравномерное пространственное распределение. Для изучаемой территории рассматриваемые характеристики колеблются в среднем от 0,049 до 2,63 м<sup>3</sup>/сек (от 1,15 до 5,63 л/(с км<sup>2</sup>). Наибольший зимний минимальный декадный расход рек бассейна озера составляет 3,81 м<sup>3</sup>/сек, а наименьший – 0,006 м<sup>3</sup>/сек. На отдельных реках бассейна озера с малой площадью водосбора и относительно большой высотой за счет незначительного грунтового питания и низких температур воздуха в зимний период характерно явление отсутствия стока за счет перемерзания.

Временная изменчивость стока рассматриваемых рек невелика. Коэффициент вариации (изменчивости) зимних минимальных декадных расходов составляет 0,14–0,63. Для большинства рек бассейна озера Севан наблюдается тенденция роста зимних минимальных декадных расходов, что обусловлено ростом средней температуры воздуха и увеличением количества осадков за зимний период.

*Ключевые слова:* меженный сток, характеристики стока, потепление, Армения

**Введение.** В зимний период года реки в основном переходят на питание подземными водами, величина стока за этот период составляет от 5 до 24% от его годового значения. Период зимней межени является дефицитным для многих видов водопользования. Удовлетворение потребностей ирригации, водоснабжения, гидроэнергетики, водного транспорта и рекреации во многом лимитировано низкой водностью рек. В этих условиях снижается надежность работы предприятий гидроэнергетики, речного транспорта, коммунального хозяйства. Знание минимального стока необходимо для эффективного управления водными ресурсами, решения экологических проблем, проектирования и функционирования гидротехнических сооружений и т. д. [Алексеевский, Фролова, 2011; Kireeva et al., 2016]. Особую актуальность исследования и расчеты стока для сезонных и многолетних маловодных периодов приобретают для уникальных водных объектов, каким является озеро Севан.

Озеро Севан – крупнейший высокогорный пресноводный водоем Южного Кавказа, характери-

зуемый нарушенным биотическим балансом. Трудно переоценить значение для Армении этого водоема, который одновременно является хранилищем стратегического запаса пресной воды, ресурсом для гидроэнергетики и орошения, объектом культурного наследия, туризма и рекреации, источником ценной рыбной продукции, крупным водохозяйственным комплексом регионоформирующего воздействия [Матишов и др., 2019].

В настоящее время для Республики Армения продолжает оставаться актуальной проблема восстановления экосистемы озера Севан после длительного регулирования его уровня. Результаты работы могут быть полезны для описания механизмов использования водных ресурсов и развития природно-хозяйственных комплексов оз. Севан, оценки водно-ресурсного и водно-экологического потенциалов территории с элементами прогноза изменений при реализации возможных видов использования; определения приоритетных направлений и целей экологически обоснованного водопользования и водопотребления на водосборе как основы для сохранения/

<sup>1</sup> Ереванский государственный университет, географический и геологический факультет, кафедра физической географии и гидрометеорологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: vmargaryan@ysu.am

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, зав. кафедрой, докт. геогр. н., профессор; e-mail: frolova\_nl@mail.ru

улучшения качества и количества вод. Особый интерес представляют условия формирования водных ресурсов в маловодный (зимний и летне-осенний) период года.

Вопросы минимального стока рек Армении рассматривались в работах Л.Р. Варданяна и Л.В. Азизяна [Варданян, Азизян, 2014], М.В. Шагиняна и Б.П. Мнацаканяна [Шагинян, Мнацаканян, 1982], В.Г. Марганяна [Маргарян и др., 2018], З.З. Мурадяна, [Мурадян, 2014], Т.Г. Варданяна [Варданян, 1991] и др. Однако, в Армении специализированных научных работ по изучению зимнего минимального декадного стока рек до сих пор не было.

Таким образом, целью данного исследования является оценка пространственно-временных закономерностей изменения зимних средних декадных минимальных расходов воды рек, впадающих в озеро Севан, с учетом наблюдающихся климатических изменений и хозяйственной деятельности в бассейне озера.

**Материалы и методы исследования.** В качестве исходных данных в работе использованы материалы многолетних наблюдений за расходами воды за период со дня открытия станции до 2018 г., опубликованные в соответствующих выпусках «Гидрологических ежегодников» (данные «Службы по гидрометеорологии и активному воздействию на атмосферные явления» МЧС Республики Армении). Отметим, что с течением времени изменилось как количество наблюдаемых рек, так и число расположенных на них гидрологических постов. Так, на изучаемой территории в разные годы действовали 41 метеорологическая станция, 39 гидрологических постов, а в настоящее время действуют всего 7 метеорологических станций и 12 гидрологических постов.

Как на реках республики, так и на реках изучаемой территории минимальные расходы воды наблюдаются в периоды летне-осенней и зимней межени. Для характеристики водности определяются средний суточный, срочный, средний за декаду с наиболее низкой водностью, средний месячный, средний за весь межennyй период расходы воды. В настоящей работе для анализа используется средний за декаду с наиболее низкой водностью расход воды (или далее минимальный декадный сток (расход)) в течение зимнего маловодного периода. Именно эта характеристика нашла широкое применение во многих водохозяйственных организациях Армении для проведения различных гидрологических расчетов.

Представленные в работе карты построены с помощью пакета QGIS 3.10. Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакетов Statistica и Excel.

**Краткая физико-географическая характеристика бассейна озера Севан.** Бассейн Севана, который расположен между Малым Кавказом и Армянским вулканическим нагорьем, имеет сложную геологическую структуру, разные формы рельефа с пестротой переобработанных форм. По особенностям геологической структуры бассейн озера делит-

ся на две части: северо-восточную, принадлежащую складчато-глыбовым областям Армении, и юго-западную, составляющую часть Армянского вулканического нагорья. В юго-западной части имеют широкое распространение сильно пористые и водопроницаемые породы с трещинами, а в высокогорных районах – чингилы, которые выполняют роль регулятора для питания рек. Северо-восточная часть бассейна выделяется отсутствием более или менее крупных источников, наличием множества маленьких притоков, характерны селевые стоки. Почти все выпавшие здесь осадки по склону текут в ручьи или сразу в озеро. Многие из рек в период маловодья не достигают озера [Экология ..., 2010; Физическая ..., 1971].

В озеро Севан впадают 28 рек и два крупных подземных источника, на 24 из них в разные годы проводились наблюдения за уровнем и расходами воды. Большая часть рек бассейна имеет незначительную длину и площадь водосбора. В бассейне насчитывается 930 рек длиной до 10 км. Сравнительно крупные реки, площадь бассейна которых больше 100 км<sup>2</sup>, – Масрик, Карчакпюр, Варденис, Аргичи, Бахтак, Гаварагет (табл. 1).

Реки бассейна в основном имеют смешанное питание: снеговое, дождевое и подземное [Маргарян, Варданян, 2011]. Причем из-за значительного разнообразия геологических, в особенности гидрогеологических, условий источники питания рек сильно различаются. Питание рек, берущих начало с Гегамских и Вардениских гор вулканического происхождения, преимущественно подземное (60–80%), а питание рек, берущих начало с Арегунийского и Севанского горных хребтов складчато-глыбового происхождения, в основном происходит талыми и дождевыми водами (60–70%). Реки только с дождевым питанием, за исключением некоторых, имеющих временный сток, отсутствуют. Водосборным бассейнам, имеющим благоприятные условия для просачивания, характерно подземное питание. Преимущественно подземное питание имеют реки Масрик, Карчакпюр, Цаккар, Гаварагет, исключительно подземное – Личк [Гидрография ..., 1981].

На изучаемой территории речная сеть отличается неравномерным распределением, средняя плотность составляет 0,77 км/км<sup>2</sup>. Густой гидрографической сетью выделяется бассейн Большого Севана, в особенности его южная и юго-западная части. Здесь протекают все сравнительно большие реки. В бассейне имеются также протяженные территории, где нет поверхностного стока: например, участок от Гаварагета до истоков реки Раздан. Здесь распространены молодые вулканические породы, которые имеют сильные трещины и водопроницаемость, из-за которых атмосферные осадки почти полностью просачиваются и не преобразуются в поверхностный сток (рис. 1) [Экология ..., 2010].

**Результаты и обсуждение.** Как правило, после весенне-летнего половодья в бассейнах рек, впадающих в озеро Севан, как и в других регионах республики, начинается период межени, который про-

Таблица 1

Основные гидрографические характеристики рек и их водосборов бассейна озера Севан

Река – пункт	Расстояние от устья, км	Длина реки, м	Уклон реки от наиболее удаленной точки, ‰		Основные характеристики водосбора		
			средний	средневзвешенный	площадь, км <sup>2</sup>	средняя высота, м	Средний уклон, ‰
Р. Дзыкнагет – п. Цовагюх	1,0	22,0	34	30	82,6	2220	211
Р. Драхтик – п. Драхтик	0,8	11,2	51	43	39,2	2270	246
Р. Памбак – п. Памбак	1,8	10,0	104	92	20,4	2540	433
Р. Масрик – п. Цовак	2,8	45,0	27	16	673	2310	158
Р. Карчахпюр – п. Карчахпюр	1,1	26,0	54	49	116	2650	174
Р. Ваденис – п. Варденик	4,1	28,0	48	44	117	2680	279
Р. Мартуни – п. Геховит	7,2	27,0	60	46	84,5	2760	285
Р. Аргичи – п. Геташен	6,0	51,0	14	8	366	2470	144
Р. Цахкашен – п. Вагашен	2,3	–	–	–	92,4	2570	–
Р. Личк – п. Личк	3,0	8,0	37	31	33,0	2060	87
Р. Бахтак – п. Цаккар	6,0	30,0	47	42	144	2570	123
Р. Гаварагет – п. Норатус	7,0	24,0	29	24	467	2430	133

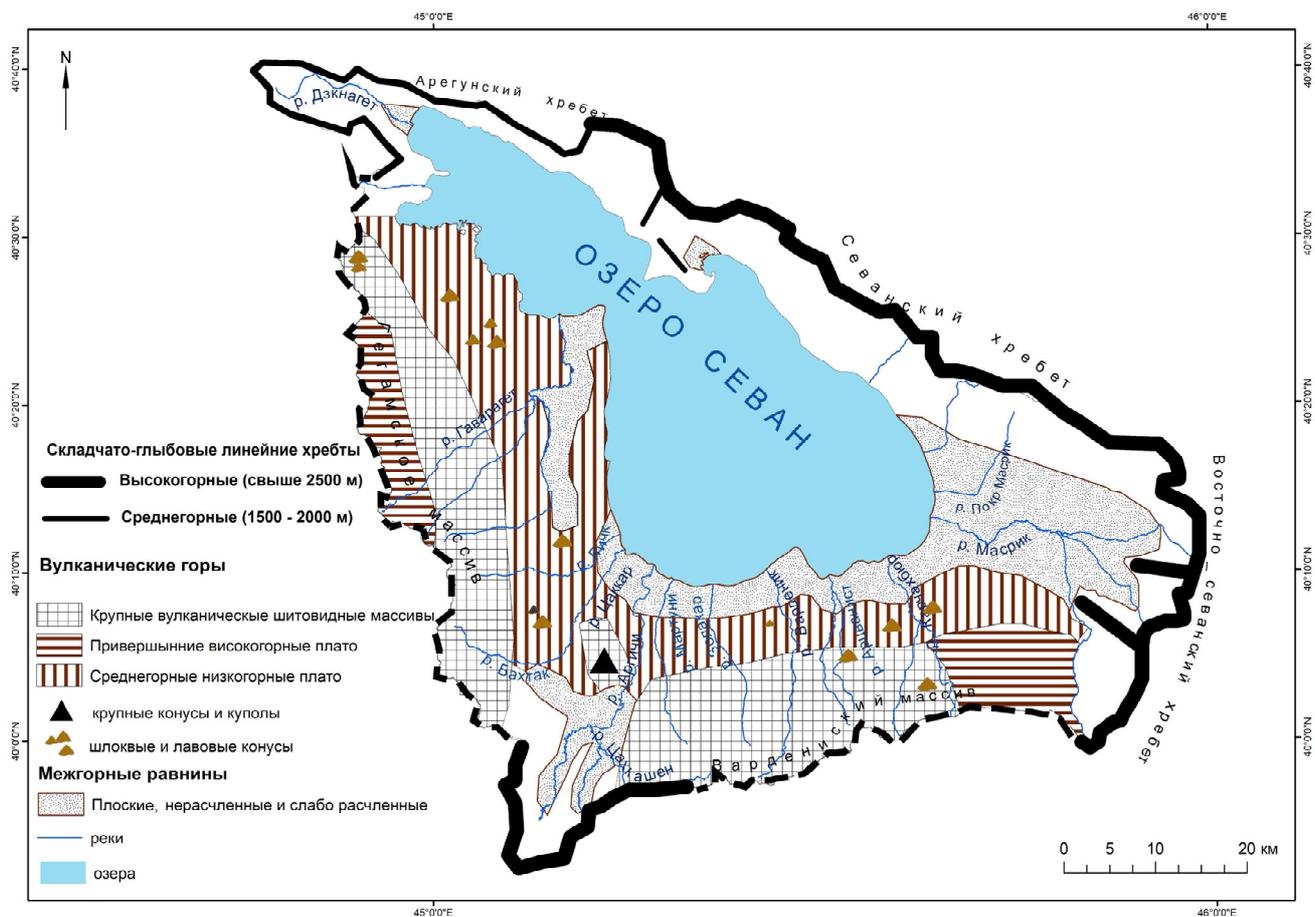


Рис. 1. Орографическая карта-схема бассейна оз. Севан

Fig. 1. Schematic orographic map of the Sevan Lake basin

должается до марта. Обычно период низкого стока длится до 8–9 месяцев. По условиям формирования и величины стока меженный период делится на летне-осенний и зимний. В обоих случаях питание рек происходит преимущественно подземными водами. Однако летне-осенние дожди часто могут нарушить режим питания рек и даже быть причиной наводнений.

Зимний маловодный период устанавливается с конца ноября–декабря по февраль–март, то есть продолжительность зимней межени составляет примерно 3–4 месяца. Десятидневный минимальный сток наблюдается в середине февраля.

Минимальный сток рек бассейна озера формируется в сложных природных условиях: разнообразный горный рельеф и геологическая структура, меняющиеся климатические условия и ряд других природных факторов. Их влияние нашло свое отражение в неравномерном пространственном распределении минимального декадного стока зимнего маловодного периода рек. Естественные и антропогенные факторы, обуславливающие минимальный сток и его изменение, рассматриваются во многих работах отечественных и

зарубежных авторов [Волчек, Грядунова, 2010; Гуревич, 2009; Евстигнеев и др., 1990 и др.].

Так, на изучаемой территории зимние минимальные декадные расходы воды колеблются в пределах 0,049–2,63 м<sup>3</sup>/сек (табл. 2). Наибольший из них составил 3,81 м<sup>3</sup>/сек (1948 г.) и наблюдался на р. Гаварагет – п. Норатус, а наименьший – на р. Драхтик – п. Драхтик – 0,006 м<sup>3</sup>/сек (1961 г.). Сравнительно меньшие значения зимних минимальных декадных расходов воды обусловлены формированием устойчивого снежного покрова в бассейне озера в холодный период года, замерзанием отдельных участков рек, а сравнительно большие значения имеют преимущественно реки с подземным питанием. Кроме того, некоторая часть речной воды расходуется на образование льда при замерзании.

Для исследуемой территории коэффициент вариации (изменчивости)  $C_v$  зимних минимальных декадных расходов составляет 0,14–0,63. Для всего бассейна его среднее значение равно 0,33. Как правило, небольшие значения  $C_v$  наблюдаются на тех реках, которые имеют большую естественную за-

Таблица 2

## Характеристики временных рядов зимних минимальных декадных расходов воды рек бассейна озера Севан

Река – пункт	Период наблюдений	Зимние декадные минимальные расходы		Коэффициенты	
		Средний расход, м <sup>3</sup> /с	Модуль стока, л/(с км <sup>2</sup> )	Вариации, $C_v$	Асимметрии, $C_s$
Р. Дзыкнагет – п. Цовагюх	1936–39, 1941–44, 1947–2017	0,14	1,69	0,32	0,75
Р. Драхтик – п. Драхтик	1958–63, 1972–92, 1999–2017	0,045	1,15	0,63	0,74
Р. Памбак – п. Памбак	1947–50, 1952–53, 1955–68, 1970–89, 1998–2017	0,069	3,38	0,33	0,36
Р. Масрик – п. Цовак	1953–2017	2,33	3,46	0,22	–0,23
Р. Карчахпюр – п. Карчахпюр	1952–63, 1965–94, 1998–2017	0,84	7,24	0,24	–0,47
Р. Ваденис – п. Варденик	1935–38, 1940–43, 1945–46, 1949–94, 1998–2017	0,49	4,19	0,39	0,39
Р. Мартуни – п. Геховит	1963–2017	0,64	7,57	0,19	1,03
Р. Аргичи – п. Геташен	1935–2017	1,96	5,36	0,25	0,37
Р. Цахкашен – п. Вагашен	1971–99, 2004–2017	0,47	5,09	0,28	–0,24
Р. Личк – п. Личк	1960–62, 1976–94, 1998–2017	1,51	45,8	0,38	1,06
Р. Бахтак – п. Цаккар	1951–2017	0,12	0,83	0,62	0,80
Р. Гаварагет – п. Норатус	1936–44, 1947–48, 1950, 1952–92, 1998–2017	2,63	5,63	0,14	0,21

регулируемость стока (сравнительно большее подземное питание). На изучаемой территории относительно большим подземным питанием (то есть, где подземное питание на 70% и более превышает поверхностное) выделяются реки Масрик, Карчахпюр, Гаварагет. Сравнительно большие значения  $C_v$  наблюдаются на реках с питанием дождевыми и талыми водами, а также на маленьких реках. Расчетные значения коэффициента асимметрии зимних минимальных декадных расходов составляют 0,47–1,06. Определенной зависимости коэффициента вариации от высоты не выявлено.

В зимний период расходы воды в реках на изучаемой территории резко уменьшаются, составляя 5–24% от величины среднего годового стока. Реки переходят в основном на питание подземными водами (табл. 3). Отметим, что часть высокогорных рек зимой промерзает до дна. Расчеты показывают, что средний расход воды за зимний маловодный период (XI–II) меньше или почти равен расходу за летне-осенний маловодный период (VII–IX), за исключением нескольких рек. Такое соотношение, в принципе нехарактерное для рек Армении, скорее всего, связано с использованием воды на хозяйственные нужды.

Вследствие замерзания из-за незначительного грунтового питания и низких зимних температур

наблюдается отсутствие стока на реках Бахтак, Гегаркуник, Гридзор. Наибольшая продолжительность данного явления наблюдается на реке Гегаркуник – 3,0–3,5 месяца, на Гридзоре и Бахтаке – 2,5–3,0 месяца. Площадь водосбора этих рек сравнительно мала – от 40 до 150 км<sup>2</sup>, их средняя высота – более 2500–2600 м.

Воды рек, впадающих в озеро, используются в питьевых, бытовых, оросительных, промышленных, гидроэнергетических целях, а также в рыбном хозяйстве, в целях обводнения. Однако из-за крайне неравномерного пространственного и внутригодового распределения речного стока здесь возникают значительные трудности с их использованием. Согласно табл. 4 на изучаемой территории в 2018 г. водозабор (без ГЭС) составил 53,4 млн м<sup>3</sup>, потери при транзитной переброске – 22,6 млн м<sup>3</sup> (42,3%). Значительная часть водопотребления (57,1%) выпадает на долю сельского, рыбного и лесного хозяйства. В 2014–2018 гг. объем водозабора составил 41,3–53,4 млн м<sup>3</sup>, причем на 64,6–79,9% за счет подземных источников. Рассматриваемый за зимний период сток можно принять близким к естественному, так как в это время нет орошения – главного потребителя водных ресурсов изучаемой территории.

Как правило, с высотой обычно растет модуль минимального стока [Варданян, 1991; Маргарян

Таблица 3

Сток зимнего маловодного периода рек бассейна озера Севан

Река – пункт	Месячный сток, млн м <sup>3</sup>			Годовой сток, млн м <sup>3</sup>	Отношение стока зимнего маловодного периода, %		Отношение стока зимнего и летне-осеннего маловодных периодов
	XII	I	II		к годовому	к летне-осеннему маловодному периоду	
Р. Дзыкнагет – п. Цовагюх	0,63	0,52	0,58	34,6	5,01	7,93	0,63
Р. Драхтик – п. Драхтик	0,23	0,19	0,20	6,72	9,26	13,6	0,68
Р. Памбак – п. Памбак	0,26	0,23	0,21	6,59	10,6	17,4	0,61
Р. Масрик – п. Цовак	7,16	6,79	6,29	105	19,3	19,7	0,98
Р. Карчахпюр – п. Карчахпюр	2,63	2,55	2,29	33,4	22,4	19,5	1,15
Р. Ваденис – п. Варденик	1,90	1,77	1,52	49,5	10,5	17,0	0,61
Р. Мартуни – п. Геховит	2,01	1,97	1,78	53,0	10,9	17,2	0,63
Р. Аргичи – п. Геташен	6,39	6,16	5,57	172	10,5	8,97	1,17
Р. Цахкашен – п. Вагашен	1,48	1,57	1,63	47,9	9,75	12,2	0,8
Р. Личк – п. Личк	4,72	4,63	4,04	56,8	23,6	26,1	0,9
Р. Бахтак – п. Цаккар	0,50	0,49	0,48	20,5	7,20	5,06	1,42
Р. Гаварагет – п. Норатус	7,95	7,93	7,11	110	20,8	19,1	1,09

Таблица 4

Объемы водозабора и водопользования в бассейне оз. Севан за 2018 г., млн м<sup>3</sup> (без ГЭС)

Водозабор	Водопользование	В т. ч. по назначению		
		Питьевое водоснабжение	Промышленность, строительство, коммунальное хозяйство	Сельское, рыбное, лесное хозяйство
53,4	30,8	11,7	1,5	17,6

и др., 2018; Мурадян, 2014; Ресурсы ..., 1973]. Однако, в бассейне озера некоторые отклонения от этих закономерностей наблюдаются на посту р. Бахтак – Цаккар (0,83 л/(с км<sup>2</sup>)) и на посту р. Личк – Личк (45,7 л/(с км<sup>2</sup>)) (рис. 2). По нашему мнению, такие отклонения обусловлены физико-географическими особенностями речных бассейнов, а также местными особенностями питания, и во многом определяются надежностью данных.

Полученные зависимости (см. рис. 2, 3) можно использовать для предварительных расчетов зимнего минимального стока неизученных рек рассматриваемой территории.

Для всех действующих постов рек бассейна озера построены графики изменений минимальных декадных расходов воды. Анализ результатов показал, что для большинства рек (58%), впадающих в озеро Севан, наблюдается тенденция роста зимних минимальных декадных расходов (рис. 4). На пяти реках в юго-западной и восточной частях бассейна (Масрик, Мартуни, Бахтак, Личк и Гаварагет) в 42% случаев наблюдается тенденция их уменьшения.

Тенденция увеличения зимнего стока характерна для многих регионов России и прилегающих

территорий [Бейсембаева и др., 2016; Болгов и др., 2014; Волчек, Грядунова, 2010; Джамалов и др., 2017; Филиппова, 2014; Frolova et al., 2017; Rets et al., 2018; Telegina, 2015]. Так, например, для большинства исследуемых рек Беларуси отмечается стабильная тенденция увеличения летне-осенних (73% исследуемых рек) и зимних (80%) минимальных расходов воды, причем на большей части рек величина изменения стока в зимний период больше, чем в летне-осенний [Волчек, Грядунова, 2010]. Практически на всей территории ЕТР отмечается увеличение нормы минимального стока, причем наибольший рост наблюдается в южных частях бассейна, в степной и лесостепной зонах [Филиппова, 2014].

Для оценки влияния климатических факторов на сток рек рассмотрен временной ход и тренды средних температур приземного слоя воздуха и атмосферных осадков за зимний период за имеющиеся периоды наблюдений (рис. 5). Анализ линий трендов показывает, что на всех действующих в настоящее время метеостанциях бассейна наблюдается тенденция роста температуры воздуха и атмосферных осадков, что обуславливает преимущественно положительную динамику изменения зимних минимальных декадных расходов бассейна озера Севан. В большей степени выражено влияние увеличения осадков за холодный период года.

Для тех рек, где наблюдается тенденция уменьшения зимних минимальных декадных расходов, речные экосистемы становятся более уязвимыми. В настоящее время особенно неблагоприятное экологическое состояние наблюдается в тех речных бассейнах, где интенсивно развита гидроэнергетика (бассейны Дзорагох, Масрик, Варденис, Мартуни, Аргичи, Карчახбюр и др.).

Используя результаты статистических расчетов, в работе построена карта распределения среднего многолетнего модуля минимального декадного зимнего стока (рис. 6).

В бассейне оз. Севан можно выделить три зоны, исходя из величины модуля стока: 1) средние и высокие части горных хребтов Гегама, Варденис и Восточно-Севанский с модулями стока 5–7 л/(с км<sup>2</sup>) и привершинные части горных хребтов Варденис с модулями стока 7 л/(с км<sup>2</sup>) и более; 2) обширные предгорные части всех горных хребтов, окаймляющих озеро, с модулями стока 3–5 л/(с км<sup>2</sup>), за исключени-

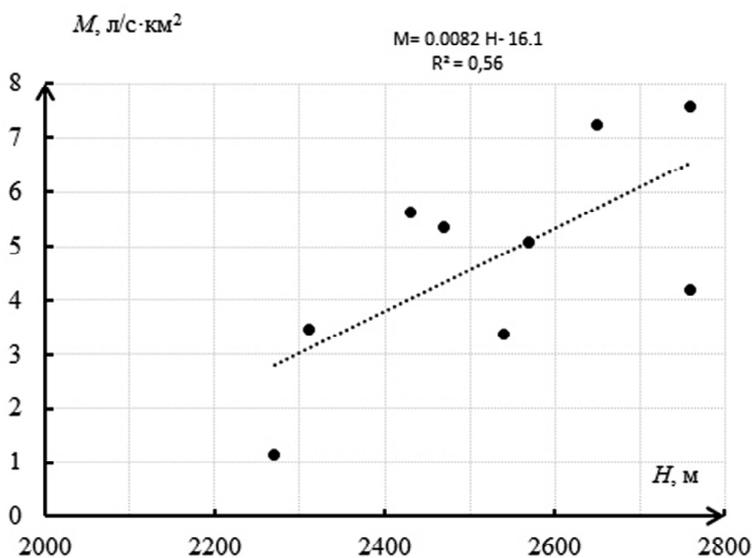


Рис. 2. Зависимость модуля зимнего декадного минимального стока  $M$  (л/(с км<sup>2</sup>)) от средневзвешенной высоты водосбора  $H$  (м) для рек бассейна озера Севан

Fig. 2. Dependence of the winter decadal minimum runoff rate  $M$  (l/sec km<sup>2</sup>) on the weighted average catchment altitude  $H$  (m) for the rivers of the Sevan Lake basin

ем северо-западной части Гамского хребта; 3) предгорные части Севанской котловины, Масрикская равнина, северо-западная часть Гегамского хребта с модулями стока 0–3 л/(с км<sup>2</sup>).

Таким образом, полученные результаты имеют очень важное прикладное значение для геоэкологических задач, в частности, для управления водными экосистемами, их эффективного использования и охраны, определения экологического стока, оценки рисков, прогнозирования водных катастроф, охраны речных экосистем от деградации и решения других задач.

**Выводы.** В результате выполненной работы получены следующие результаты:

- минимальные расходы воды рек изучаемой территории наблюдаются в период летне-осеннего и зимнего маловодных периодов. Зимняя межень длится с конца ноября – декабря до февраля – марта;

- зимние средние декадные минимальные расходы воды рек, впадающих в озеро Севан, изменяются в пределах 0,045–2,63 м<sup>3</sup>/с. Сравнительно большие значения характерны для рек Масрик и Гаварагет, а малые – для рек Драхтик, Памбак и Бахтак;

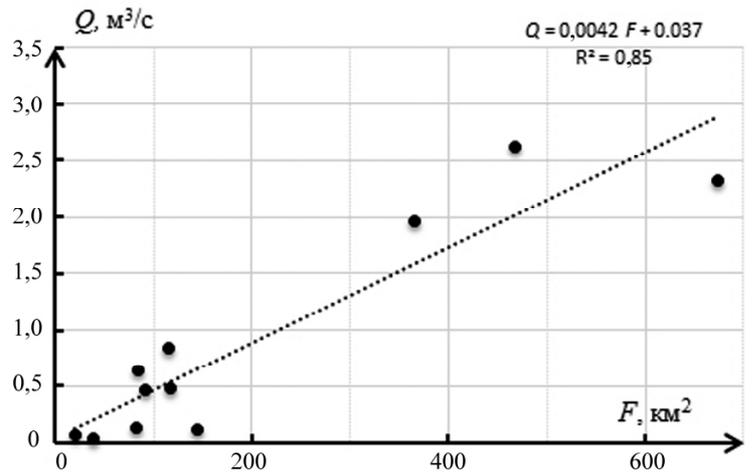


Рис. 3. Зависимость зимнего минимального декадного расхода воды  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) от площади водосбора  $F$  (км<sup>2</sup>) для рек бассейна озера Севан

Fig. 3. Dependence of the winter minimum decadal water discharge  $Q$  (m<sup>3</sup>/sec) on the catchment area  $F$  (km<sup>2</sup>) for the rivers of the Sevan Lake basin

- коэффициент вариации зимнего минимального декадного стока находится в пределах 0,14–0,63. Его среднее значение для всего бассейна озера составляет 0,33. Малые значения коэффициента вари-

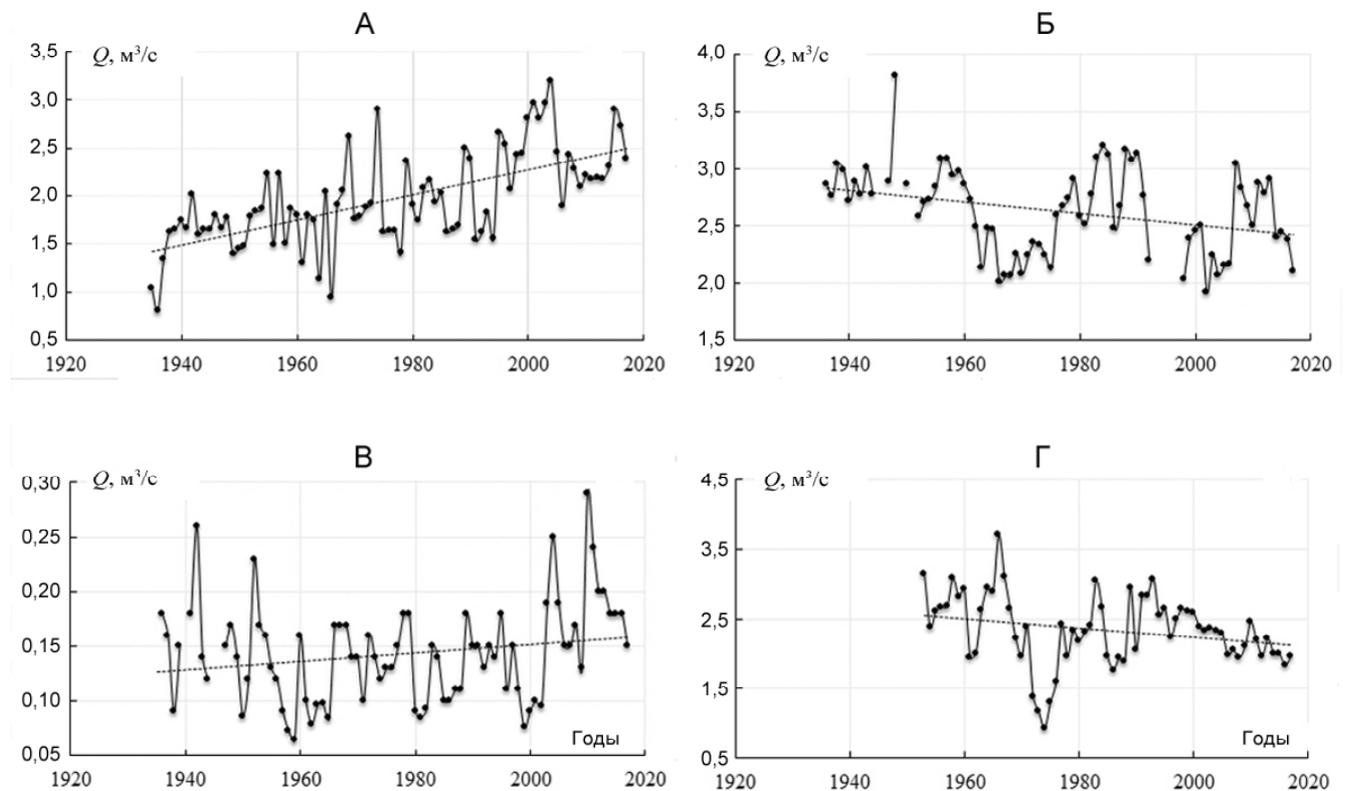


Рис. 4. Динамика изменения зимних минимальных декадных расходов на реках бассейна оз. Севан: А – Р. Аргичи – п. Геташен; Б – Р. Гаварагет – п. Норатус; В – Р. Дзыкнагет – п. Цовагюх; Г – Р. Масрик – п. Цовак

Fig. 4. Dynamics of changes in winter minimum decadal water discharge for the rivers of the Sevan Lake basin: А – Argidji River – g. Getashen; Б – Gavraget River – g. Noratus; В – Dzknaget River – g. Tsovaguyuh; Г – Masrik River – g. Tsovak

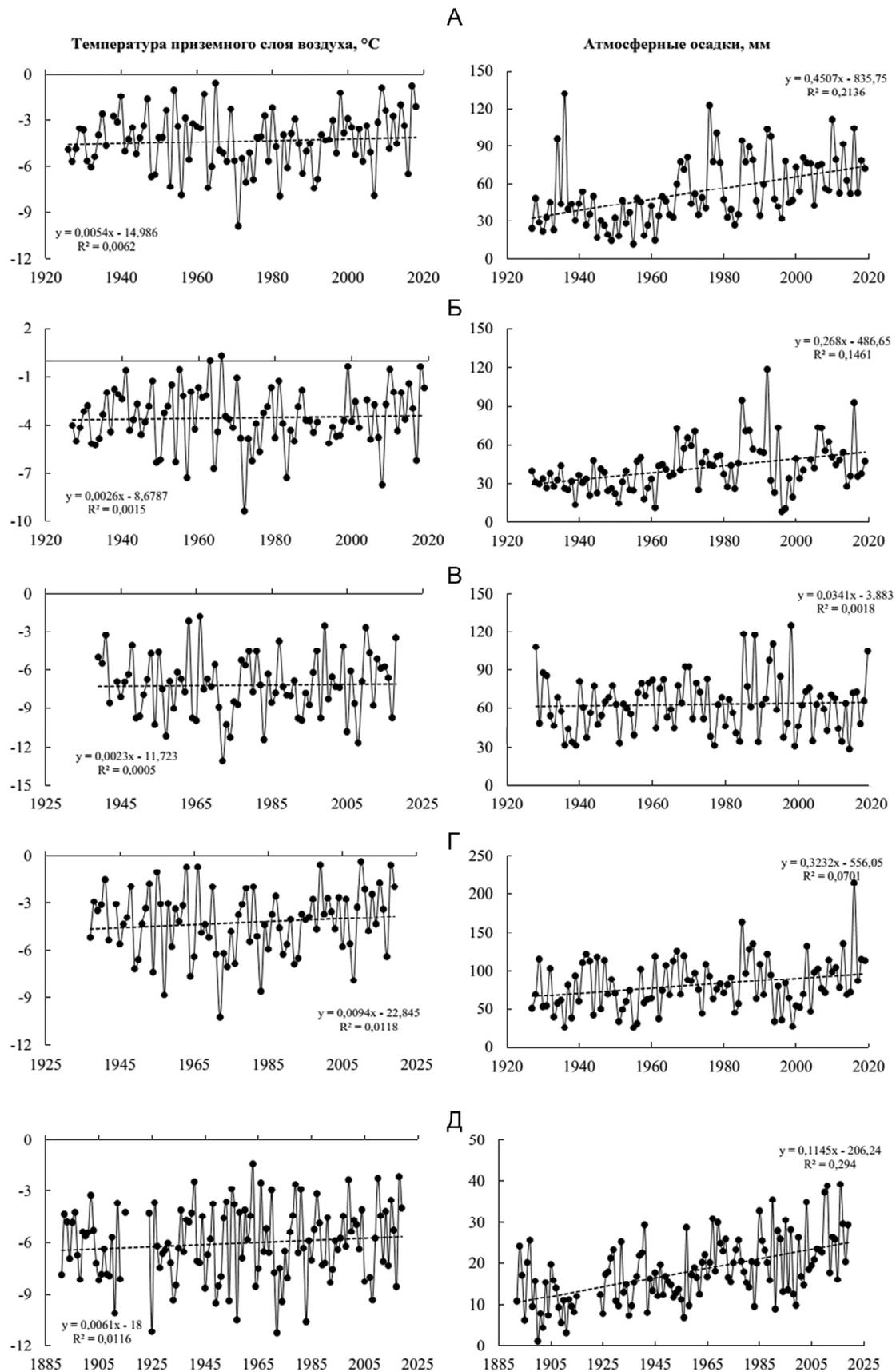


Рис. 5. Изменение температуры воздуха и осадков за холодный период года для метеостанций, расположенных в бассейне оз. Севан: А – Севан; Б – Шоржа; В – Масрик; Г – Мартуни; Д – Гавар

Fig. 5. Change in air temperature and precipitation during the cold season for weather stations located in the Sevan Lake basin: А – Sevan; Б – Shorzha; В – Masrik; Г – Martuni; Д – Gavar



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л. Безопасность водопользования в условиях маловодий // Водное хозяйство России. 2011. Т. 6. С. 6–17.
- Бейсембаева М.А., Дубровская Л.И., Земцов В.А. Минимальный сток Иртыша в равнинной части бассейна на территории Республики Казахстан в условиях антропогенной нагрузки // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 4. С. 35–43.
- Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга // Метеорология и гидрология. 2014. № 3. С. 75–84.
- Варданян Л.Р., Азизян Л.В. Прогноз меженного стока по кривой истощения запасов подземных вод на примере рек Республики Армения // Вестник ГИУА. Серия «Гидрология и гидротехника». 2014. Вып. 17. № 1. С. 18–26.
- Варданян Т.Г. Зимний минимальный сток р. Аргичи и его расчет // Ученые записки ЕГУ. 1991. № 2. С. 150–156. (На армянском яз.)
- Волчек А.А., Грядунова О.И. Минимальный сток рек Беларуси (монография). Брест. гос. ун-т имени А.С. Пушкина. Брест: БрГУ, 2010. 169 с.
- Гидрография Армянской ССР. Ереван: изд-во АН Арм. ССР, 1981. 177 с. (На армянском яз.)
- Гуревич Е.В. Влияние температуры воздуха на зимний сток рек (на примере бассейна р. Алдан) // Метерология и гидрология. 2009. № 9. С. 92–99.
- Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Косолапов А.Е. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: Издательство ГЕОС, 2017. 227 с.
- Евстигнеев В.М., Зайцев А.А., Сваткова Т.Г. и др. Водный режим рек СССР (карта для высшей школы масштаба 1:8 000 000) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1990. № 1. С. 10–16.
- Маргарян В.Г., Варданян Т.Г. Особенности формирования речного стока и внутригодового распределения бассейна озера Севан // Научно-практический потенциал географии и его практическое применение (материалы научной конференции посвященной 80-летию рождения и 55-летию научно-педагогической деятельности Лемвела Акоповича Валесяна). Ереван: Изд-во Ереванского университета, 2011. С. 211–223. (На армянском яз.)
- Маргарян В.Г., Давтян Т.М., Амроян А.М., Хуришудян С.А., Саргсян К.Г., Матевосян В.А. Анализ и оценка изменения зимних наименьших среднедекадных расходов воды притоков озера Севан // Современные задачи географии и геологии. (Материалы международного симпозиума, посвященного 100-летию основания Ереванского государственного университета, Факультет географии и геологии, Ереван, 27–29 сентября, 2018). Ереван: Изд-во ЕГУ, 2018. С. 242–246. (На армянском яз.)
- Матишов Г.Г., Селютин В.В., Месропян К.Э., Бульшиева Н.И., Швердяев И.В., Арутюнян Р.М., Габриелян Б.К. Современное состояние и проблемы изучения озера Севан // Наука юга России (Вестник Южного научного центра РАН). 2016. Том 12. № 2. С. 43–52.
- Мурадян З.З. Расчет и оценка риска экстремальных расходов рек бассейна Аракс РА: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ереван, 2014. 32 с. (На армянском яз.)
- Ресурсы поверхностных вод СССР. М.: Гидрометеиздат, 1973. Том 9. Бассейн р. Аракса. Вып. 2. 472 с.
- Филиппова И.А. Минимальный сток рек Европейской части России и его оценка в условиях изменения климата: дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИВП РАН, 2014. 210 с.
- Физическая география Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1971. 470 с. (На армянском яз.)
- Шагинян М.В., Мнацаканян Б.П. О возможности прогнозирования меженного стока по уровням грунтовых вод // Сборник работ Ереванского ГМО. 1982. Вып. 4. С. 36–39.
- Экология озера Севан в период повышения его уровня. Результаты исследований Российско-Армянской биологической экспедиции по гидроэкологическому обследованию озера Севан (Армения) (2005–2009 гг.). Махачкала: Наука ДНЦ, 2010. 348 с.
- Frolova N.L., Belyakova P.A., Grigor'ev V.Yu., Sazonov A.A., Zotov L.V. Many-year variations of river runoff in the Selenga basin. *Water Resources and the Regime of Water Bodies*, 2017, vol. 44, no. 3, p. 359–371. DOI: 10.1134/S0097807817030101.
- Kireeva M.B., Frolova N.L., Winde F., Dzhamalov R.G., Rets E.P., Povalishnikova E.S., Pahomova O.M. Low flow on the rivers of the European part of Russia and its hazards. *Geography, Environment, Sustainability*, 2016, vol. 9(4), p. 33–47. DOI: 10.24057/2071-9388-2016-9-4-9-16.
- Rets E.P., Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Frolova N.L., Durmanov I.N., Telegina A.A., Telegina E.A., Grigoriev V.Y. Recent trends of river runoff in the North Caucasus. *Geography, Environment, Sustainability*, 2018, vol. 11(3), p. 61–70.
- Telegina E.A. Spatial and temporal variations of winter discharge under climate change: Case study of rivers in European Russia. *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources*, IAHS Publ., 2015, 368, Proceedings RSHS14 and ICGRHWE14, Guangzhou, China, August 2014, p. 245–250. DOI: 10.5194/piahs-368-245-2015.

Поступила в редакцию 07.02.2020

После доработки 16.06.2020

Принята к публикации 25.08.2020

V. G. Margaryan<sup>1</sup>, N. L. Frolova<sup>2</sup>

**ASSESSMENT OF THE SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION  
OF WINTER TEN-DAY MINIMUM RUNOFF  
FOR THE RIVERS OF THE SEVAN LAKE BASIN UNDER  
THE MODERN CLIMATE CHANGE**

The paper discusses the variability of winter minimum decadal water discharge for 12 gauge stations with the longest series of observations on the rivers flowing into the Sevan Lake.

Basing on the statistical analysis the norm of winter average decadal minimum discharge of the rivers was calculated, as well as the coefficients of variability ( $C_v$ ) and irregularity ( $C_s$ ). The probability curves of minimum water discharges of rivers were plotted, and the spatial and temporal variability of hydrological parameters under study was analyzed.

Correlations between water discharge values and the catchment areas were used to calculate the runoff parameters of the unexplored rivers. The map of the distribution of average winter decadal minimum runoff rate was compiled.

Studies show that the winter average decade minimum discharge of the rivers of the Lake Sevan basin has very uneven spatial distribution. The parameters under study vary on the average from 0,049 to 2,63 m<sup>3</sup>/sec, i. e. from 1,15 to 5,63 l/(sec km<sup>2</sup>) in the area. The highest minimum average decadal winter discharge of the rivers of the lake basin is 3,81 m<sup>3</sup>/sec, and the smallest is 0,006 m<sup>3</sup>/sec. Some rivers of the lake basin with relatively small catchment area and significant average balanced height have no runoff in winter because of through freezing resulting from the minor groundwater supply and low winter temperatures.

Temporal variability of water runoff is rather low for the rivers under study. The coefficient of variation (variability) of winter average decadal minimum discharges is 0,14–0,63. Most of the rivers in the lake basin have a tendency to increase winter average decadal minimum discharge due to the growing mean air temperature and increasing amount of precipitation during the winter period.

*Key words:* low-water runoff, runoff characteristics, warming, Armenia

## REFERENCES

- Alekseevsky N.I., Frolova N.L.* Bezopasnost' vodopol'zovaniya v usloviyakh malovodiy [Water use safety in the conditions of water scarcity], *Water Sector of Russia*, 2011, no. 6, p. 6–17. (In Russian)
- Beysenbaeva M.A., Dubrovskaya L.I., Zemtsov V.A.* Minimal'nyy stok Irtysha v ravninnoy chasti basseyna na territorii Respubliki Kazakhstan v usloviyakh antropogennoy nagruzki [Minimum runoff of the Irtysh River in the flat part of the basin within the Republic of Kazakhstan under the anthropogenic impact], *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 4, p. 35–43. (In Russian)
- Bolgov M.V., Korobkina E.A., Trubeckova M.D., Filimonova M.K., Filippova I.A.* Sovremennye izmeneniya minimal'nogo stoka na rekakh basseyna r. Volga [Modern changes in the minimum runoff of the rivers of the Volga River basin], *Meteorology and hydrology*, 2014, no. 3, p. 75–84. (In Russian)
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Kosolapov A.E.* Vodnyye resursy basseyna Dona i ikh ekologicheskoye sostoyaniye [Water resources of the Don River basin and their ecological state], Moscow, GEOS Publ., 2017, 227 p. (In Russian)
- Ekologiya ozera Sevan v period povysheniya ego urovnya* [Ecology of Lake Sevan during the period of water level rise], The results of Russian-Armenian biological expedition for hydroecological survey of Lake Sevan (Armenia). 2005–2009. Makhachkala, Science DSC Publ., 2010, 348 p. (In Russian)
- Filippova I.A.* Minimal'nyy stok rek Evropeyskoy chasti Rossii i ego otsenka v usloviyakh izmeneniya klimata [The minimum runoff of rivers in the European part of Russia and its assessment under the climate change], PhD Thesis in Geography. Moscow, 2014, 210 p. (In Russian)
- Frolova N.L., Belyakova P.A., Grigor'ev V.Yu., Sazonov A.A., Zotov L.V.* Many-year variations of river runoff in the Selenga basin *Water Resources and the Regime of Water Bodies*, 2017, vol. 44, no. 3, p. 359–371. DOI: 10.1134/S0097807817030101.
- Gidrografiya Armyanskoy SSR* [Hydrography of the Armenian SSR]. Yerevan, AN 1 Publ., Arm. SSR, 1981, 177 p. (In Armenian)
- Gurevich E.V.* Vliyanie temperatury vozdukha na zimniy stok rek (na primere basseyna r. Aldan) [Air Temperature Influence on the Winter River Runoff (Case Study of the Aldan River Basin)], *Meteorology and hydrology*, 2009, no. 9, p. 92–99. (In Russian)
- Kireeva M.B., Frolova N.L., Winde F., Dzhamalov R.G., Rets E.P., Povalishnikova E.S., Pahomova O.M.* Low flow on the rivers of the European part of Russia and its hazards. *Geography, Environment, Sustainability*, 2016, vol. 9(4), p. 33–47. DOI: 10.24057/2071-9388-2016-9-4-9-16.
- Margaryan V.G., Davtyan T.M., Amroyan A.M., Churshudyan S.A., Sargsyan K.G., Matevosyan V.A.* Analiz i otsenka izmeneniya zimnikh naimen'shikh srednedekadnykh raskhodov vody pritokov ozera Sevan [Analysis and assessment of changes in the winter minimum mean decadal water discharges for the tributaries of the Sevan Lake], *Contemporary issues of geography and geology. Dedicated to the 100<sup>th</sup> Anniversary of the Yerevan State University, International Conference Proceedings September 27–29, 2018*, Yerevan. Yerevan, YSU Publ., 2018, p. 242–246. (In Armenian)

<sup>1</sup> Yerevan State University. Faculty of Geography and Geology, Department of Physical Geography and Hydrometeorology, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: vmargaryan@ysu.am

<sup>2</sup> Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Head of the Department, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: frolova\_nl@mail.ru

Margaryan V.G., Vardanian T.G. Osobennosti formirovaniya rechnogo stoka i vnutrigodovogo raspredeleniya basseyna ozera Sevan [Specific features of river runoff formation and intra-annual distribution features of the Sevan Lake basin], *Scientific and practical potential of geography and its practical application*. Yerevan, YSU Publ., 2011, p. 211–223. (In Armenian)

Matishov G.G., Selyutin V.V., Mesropyan K.E., Bulysheva N.I., Sheverdyayev I.V., Aroutiounian R.M., Gabrielyan B.K. Sovremennoye sostoyaniye i problemy izucheniya ozera Sevan [Current state and problems of the study of Lake Sevan], *Science in the South of Russia*, 2016, vol. 12, no. 2, p. 43–52.

Muradyan Z.Z. Raschet i otsenka riska ekstremal'nykh raskhodov rek basseyna Araks RA [Calculation and risk assessment of the extreme water discharges for the rivers of the Araks River basin of the RA], Extended Abstract of PhD Thesis in Geography. Erevan, 2014, 32 p. (In Armenian)

Physical Geography of the Armenian SSR. Yerevan, Publishing House of the Academy of Sciences of Armenia, USSR, 1971, 470 p. (In Armenian)

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR], vol. 9, the Araks River basin, iss. 2, Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 472 p. (In Russian)

Rets E.P., Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Frolova N.L., Durmanov I.N., Telegina A.A., Telegina E.A., Grigoriev V.Y. Recent trends of river runoff in the North Caucasus. *Geography, Environment, Sustainability*, 2018, vol. 11(3), p. 61–70.

Shaginyan M.V., Mnatsakanyan B.P. O vozmozhnosti prognozirovaniya mezhenogo stoka po urovnyam gruntovykh vod

[About the possibility of forecasting low-flow runoff using the groundwater levels], *Collected Works of the Yerevan GMO*, 1982, vol. 4, p. 36–39. (In Russian)

Telegina E.A. Spatial and temporal variations of winter discharge under climate change: Case study of rivers in European Russia *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources* (IAHS Publ., 368, 2015) (Proceedings RSHS14 and ICGRHWE14, Guangzhou, China, August 2014), p. 245–250. DOI: 10.5194/piahs-368-245-2015.

Vardanian T.G. Zimniy minimal'nyy stok r. Argichi i ego raschet [The minimal winter runoff of the Argidji River and its calculation], *Uchenye zapiski EGU*, 1991, no. 2, p. 150–156. (In Armenian)

Vardanyan L.R., Azizyan L.V. Prognoz mezhenogo stoka po krivoy istoscheniya zapasov podzemnykh vod na primere rek Respubliki Armeniya [Forecast of low-water runoff based on the underground water depletion curve on the example of the RA rivers], *Vestnik GIUA. Seriya Gidrologiya i gidrotehnika*, 2014, iss. 17, no. 1, p. 18–26. (In Russian)

Volchek A.A., Gryadinova O.I. Minimal'nyy stok rek Belarusi: monografiya [Minimum runoff of the rivers of Belarus: monograph], Brest. State University named after A.S. Pushkin. Brest, BrSU Publ., 2010, 169 p. (In Russian)

Yevstigneyev V.M., Zaytsev A.A., Svatkova T.G. et al. Vodnyy rezhim rek SSSR (karta dlya vysshey shkoly masshtaba 1:8 000 000) [Water regime of the USSR rivers (map for higher schools M 1:8 000 000)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geog.*, 1990, no. 1, p. 10–16. (In Russian)

Received 07.02.2020

Revised 16.06.2020

Accepted 25.08.2020