

11. Tarboton D.G., Bras R.L., Rodriguez-Iturbe I. (1991). On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrol. Process.*, 5, 81-100. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050107>
12. Reuter H. I., Nelson A., Jarvis A. (2007). An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(9), 983–1008. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658810601169899>
13. Gallant J. C., Read A. M., Dowling T. I. (2012). Removal of tree offsets from srtm and other digital surface models. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B4, 275–280. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B4-275-2012>
14. Carlton D., Tennant K., (2001). DEM quality assessment. In: Maunel D.F. (ed.). *Digital Elevation Model. Technologies and Applications: The DEM User's Manual*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, 395–440.
15. Bamler R. (1997). Digital Terrain Models from Radar Interferometry. In *Photogrammetric Week '97*. D. Fritsch, D. Hobbie (eds.), Wichmann, Karlsruhe, 93-105.
16. Hofer M., Sapiro G., Wallner J. (2006). Fair polyline networks for constrained smoothing of digital terrain elevation data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44 (10), 2983–2990. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.875451>
17. Raaflaub L. D., Collins M. J. (2006). The effect of error in gridded digital elevation models on the estimation of topographic parameters. *Environmental Modelling & Software*, 21(5), 710–732. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.02.003>

Стаття надійшла до редакції 29.02.2020

УДК 911.2:556.5

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.03.020>

**В.Г. Маргарян**

Ереванский государственный университет, Республика Армения

## **ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗИМНЕГО МИНИМАЛЬНОГО ДЕКАДНОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН**

Цель этого исследования – анализ и оценка закономерностей временных изменений зимних минимальных декадных расходов в ряде многолетних наблюдений для рек, впадающих в озеро Севан, а также анализ и оценка закономерностей временных изменений зимних температур воздуха и атмосферных осадков в пределах бассейна озера Севан. Для выполнения работы использованы данные наблюдений 12 гидрологических постов государственной некоммерческой организации «Центр гидрометеорологии и мониторинга» Министерства окружающей среды Республики Армения и методы: математико-статистический, экстраполяционный, интерполяционный, анализа, аналога, корреляционный, картографический. Рассмотрены закономерности изменения 75 %-ной обеспеченности зимнего минимального декадного стока в зависимости от площадей водосборов. Полученные зависимости можно использовать для получения 75 %-ной обеспеченности зимних минимальных декадных расходов неизученных и мало изученных рек исследуемой территории за календарный год. Построена карта распределения модуля среднего минимального зимнего стока за декаду с наиболее низкой водностью 75 %-ной обеспеченности. Установлено, что наблюдается как тенденция роста (58 %) зимних средних декадных минимальных расходов, так и (42 %) тенденция уменьшения. Скорость изменения зимних средних декадных минимальных расходов составляет от  $-0,133$  до  $+0,13$  м<sup>3</sup>/с/10 лет. На р. Аргичи в п. Геташен за 50 лет произошло увеличение зимнего минимального декадного стока на  $0,65$  м<sup>3</sup>/с, а на р. Личк в п. Личк – уменьшение на  $0,67$  м<sup>3</sup>/с. Рассмотрены также временной ход средних температур воздуха и атмосферных осадков за зимний период. Установлена тенденция роста температур воздуха и атмосферных осадков. Выявленные тенденции изменений зимних минималотных декадных расходов рек бассейна озера Севан важны при решении водохозяйственных проблем и вопросов экологического значения.

**Ключевые слова:** минимальные декадные расходы; обеспеченность; временные изменения; бассейн озера Севан; Армения.

© В.Г. Маргарян, 2020

**V.G. Margaryan**

Yerevan State University, The Republic of Armenia

#### TEMPORAL CHANGES OF WINTER MINIMUM TEN-DAY RUNOFF OF SEVAN LAKE RIVERS BASIN

The purpose of this study is to analyze and assess the patterns of temporal changes in winter minimum ten-day flow rates in a number of long-term observations for rivers flowing into lake Sevan, as well as to analyze and evaluate patterns of temporal changes in winter air temperatures and precipitation within the lake Sevan basin. To carry out the work, the data of observations of 12 hydrological posts of the «Hydrometeorology and monitoring center» SNCO of the Ministry of Environment of the Republic of Armenia were used. All observed hydrological posts have a number of observations 40 years or more. The methods used in the work are: mathematical-statistical, extrapolation, interpolation, analysis, analogue and correlation. The regularities of changes in the 75% provision of the winter minimum ten-day runoff from the catchment areas are considered. The obtained dependencies can be used to obtain 75% provision of winter minimum ten-day flows of unexplored and little-studied rivers of the studied territory for a calendar year. A map of the distribution of the modul of the average minimum winter runoff for a ten-day with the lowest water content of 75% supply was constructed. It was found that there is a tendency for both the growth (58%) of the winter average ten-day minimum costs, and their decrease (42%). The rate of change of the winter average ten-day minimum flow rates is from  $-0,133$  to  $+0,13$   $m^3/s/10$  years. On the Argichi river at Getashen point over the past 50 years there was an increase in the winter minimum ten-day runoff by  $0.65$   $m^3/s$ , and on the Lichk river at Lichk point – a decrease by  $0,67$   $m^3/s$ . Also considered the time course of average air temperatures and atmospheric precipitation for the winter period. It was found that there is a tendency towards an increase in air temperatures and atmospheric precipitation.

**Keywords:** *minimum ten-day expenses; security; temporary changes; Lake Sevan basin; Armenia.*

#### Актуальность темы исследования, ее изученность

Минимальный сток рек лимитирует использование водных ресурсов в различных целях. При этом очень важно знание зимних минимальных декадных расходов, что связано с управлением гидрологическими экосистемами, эффективным использованием и охраной водных ресурсов, определением экологического стока, оценкой рисков, проектированием и постройкой гидротехнических сооружений и так далее.

Вопросы минимального стока рек Армении были рассмотрены в исследованиях Л.Р. Варданяна и Л.В. Азизяна [1], Т.Г. Варданяна [2], Р.Г. Задорожной и А.М. Абгарян [3], В.Г. Маргарян и др. [4, 5], З.З. Мурадяна [6], М.В. Шагинян и Б.П. Мнацаканяна [7] и др. Однако в Армении специальных научных работ по изучению зимнего минимального декадного стока рек практически нет.

Озеро Севан – стратегическое хранилище пресной воды Республики Армения. Следовательно, изучение минимальных декадных расходов в реках бассейна озера, особенно в условиях ожидаемых изменений климата, приобретает большую актуальность.

Цель этого исследования – анализ и оценка закономерностей временных изменений зимних минимальных декадных расходов в ряде многолетних наблюдений для рек, впадающих в озеро Севан, а также анализ и оценка закономерностей

временных изменений зимних температур воздуха и атмосферных осадков в пределах бассейна озера Севан.

#### Исходные материалы и методы

Для решения поставленных задач в качестве исходного материала в работе использованы опубликованные в «Гидрологических ежегодниках» фактические данные многолетних наблюдений расхода воды до 2018 г. 12 гидрологических постов на изучаемой территории, имеющих длинный ряд наблюдений (40 лет и более) (данные государственной некоммерческой организации (ГНКО) «Центр гидрометеорологии и мониторинга» Министерства окружающей среды Республики Армения). Как правило, минимальный сток изучают по следующим категориям: 1) средний суточный, 2) срочный, 3) средний за декаду с наиболее низкой водностью, 4) средний месячный, 5) за весь меженьный период. В целях сокращения «средний за декаду с наиболее низкой водностью» сток обозначен как «минимальный декадный сток (расход)».

В этой работе обсуждены минимальные декадные расходы зимнего маловодного периода рек, впадающих в озеро Севан по данными постов, имеющих длинный ряд наблюдений. Основанием для такого выбора послужило то, что во многих водохозяйственных организациях Армении этот показатель широко применяют и им оперируют при гидрологических расчетах и разного рода

проектных разработках.

Речной сток, наблюдающийся в маловодные сезоны при отсутствии значительных паводков, принято называть меженным, а время, за которое он наблюдается, – меженным периодом. «Меженный период» – это фаза водного режима реки, наблюдающаяся в зимний или летне-осенний сезоны и характеризующаяся относительно малыми, устойчивыми по величине расходами воды. При этом под устойчивыми расходами воды понимают расходы, значительно меньшие паводковых, когда общая тенденция их хода на гидрографе стока приближается к горизонтальной линии. Синонимом меженного стока является понятие «низкий сток» [8].

В работе использованы методы: математико-статистический, экстраполяции, анализа, аналогии, корреляционный, картографический.

### Изложение основного материала

#### *Общая характеристика региона исследования*

Площадь озера Севан – 1278,04 км<sup>2</sup>, объем воды – 38,11 млрд м<sup>3</sup> (по состоянию на конец марта 2020 г.), а площадь его бассейна – 4891 км<sup>2</sup>. По особенностям геологической структуры бассейн озера Севан делится на две части: северо-восточную (относится к складчато-глыбовым областям Армении) и юго-западную (составляет часть Армянского вулканического нагорья). Северо-восточная часть бассейна выделяется отсутствием более или менее крупных источников, наличием множества небольших притоков, селевых стоков. Почти все выпавшие здесь осадки стекают в ручьи или сразу в озеро. Разнообразие геологических, особенно гидрогеологических, условий определяет характер питания рек в разных местах бассейна. Питание рек, берущих начало в Гегамских и Варденисских горах, которые имеют вулканическое происхождение, преимущественно подземное (60–80%), а реки, берущие начало в Арегунийском и Севанском горных хребтах, которые имеют складчато-глыбовое происхождение, питаются в основном талыми и дождевыми водами (60–70%) [9].

В озеро Севан впадают 28 рек, на 24-х из них в разные годы проводились водомерные наблюдения. Бассейн богат крупными источниками. К сравнительно крупным рекам, площадь водосборного бассейна которых превышает 100 км<sup>2</sup>, относятся Масрик, Карчакпюр, Варденис, Аргичи, Бахтак, Гаварагет. Речная сеть выделяется неравномерным распределением, средняя плот-

ность 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 территории, где нет поверхностного стока.

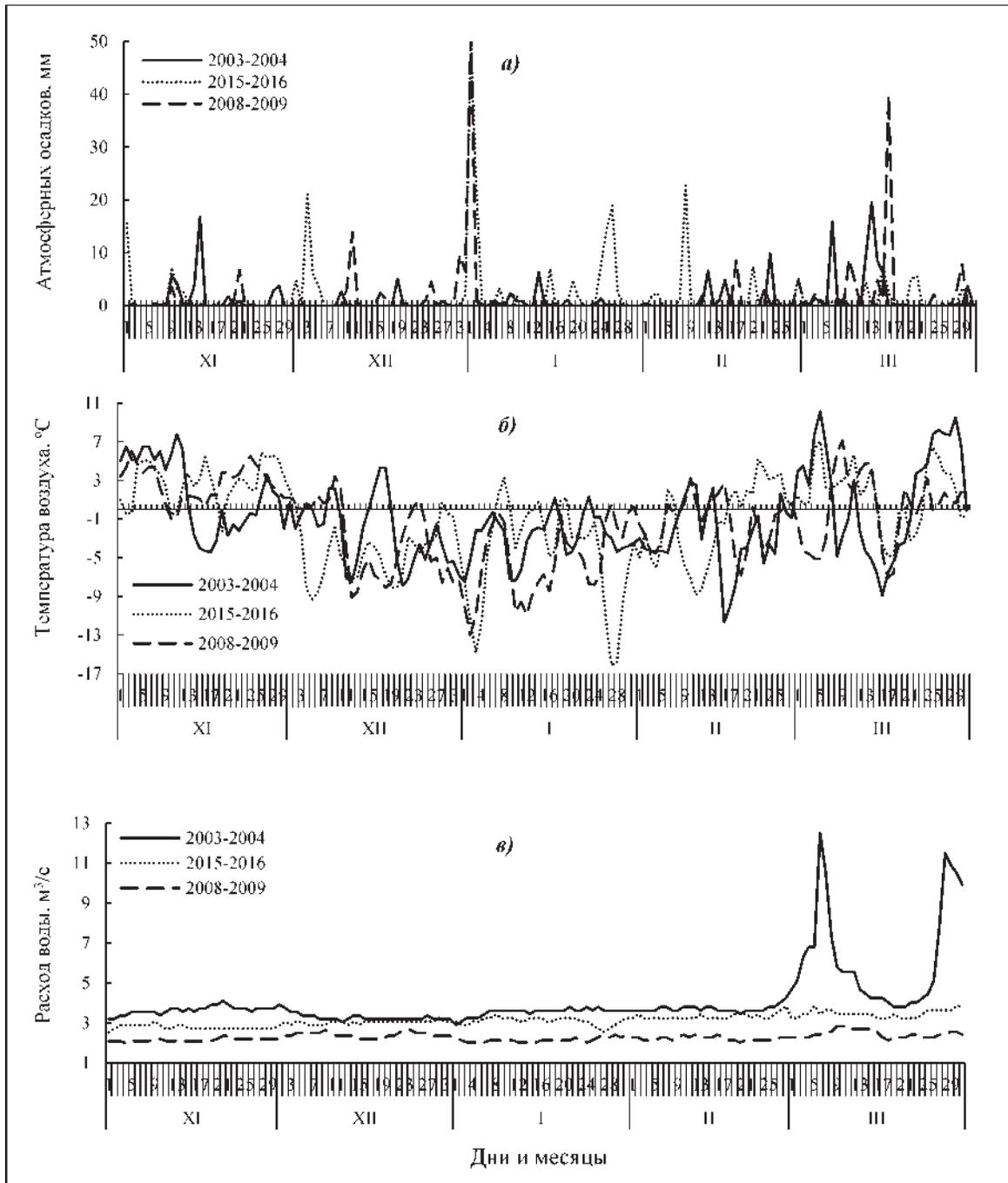
На реках рассматриваемой территории наблюдается хорошо выраженная устойчивость стока в зимний сезон. Зимнее маловодье устанавливается с конца ноября-декабря по февраль-март, а 10-дневный минимальный сток – в середине февраля. Продолжительность зимней межени составляет примерно 3–4 месяца.

Как видно из *рис. 1*, изменение стока маловодного района в основном обусловлено температурой воздуха. В этот период на изучаемой территории осадки выпадают в основном в твердом виде и накапливаются. Только при оттепелях возможно некоторое увеличение количества воды.

В зимний период расходы воды в реках на изучаемой территории резко понижаются, составляя 5–24% от величины среднего годового стока, что обусловлено тем обстоятельством, что реки переходят в основном на питание подземными водами. Сток зимней межени для рек с подземным питанием может составить 20–24% от годового стока, для рек с поверхностным питанием – 5–10%. Отметим, что часть высокогорных рек зимой промерзает до дна. В результате исследования выяснилось, что сток зимнего маловодного периода (XI-II) уступает или почти равен стоку за летне-осенний маловодный период (VII-IX), за исключением нескольких рек. Как правило, летний маловодный период должен превышать зимний. Возможно, что нарушение этой закономерности обусловлено водопотреблением.

Воды рек, впадающих в озеро, используются в питьевых, бытовых, оросительных, промышленных, гидроэнергетических целях, а также в рыбном хозяйстве, в целях обводнения. Значительная часть водопотребления (57,1 %) приходится на сельское, рыбное и лесное хозяйства. Причем из подземных водных источников водозабор составляет значительную часть общего водозабора – 64,6–79,9%. Однако из-за отсутствия данных водозабора из рек в работе использованы только результаты фактических наблюдений.

Минимальный сток рек бассейна озера формируется в сложных природных условиях (горный рельеф, особенности геологического строения, разнообразие климатических условий и ряд других природных факторов). Их влияние отражено



**Рис. 1.** Гидрографы р. Аргичи - п. Геташен в характерные многоводный (2003-2004), средний по водности (2015-2016) и маловодный (2008-2009) годы: а) атмосферных осадков (мм) на метеостанции Мартуни; б) температура воздуха (°С) на метеостанции Мартуни; в) расход воды, м<sup>3</sup>/с.

в неравномерном пространственном распределении минимального декадного стока зимнего маловодного периода рек бассейна. Так, на изучаемой территории зимние минимальные декадные расходы колеблются в пределах 0,049–2,63 м<sup>3</sup>/с (таблица 1). Наибольший из них наблюдался на р. Гаварагет – п. Норатус, который составил 3,81 м<sup>3</sup>/с (1948 г.), а наименьший – на р. Драхтик

– п. Драхтик и составил 0,006 м<sup>3</sup>/с (1961 г.). Сравнительно меньшие значения зимних минимальных декадных расходов обусловлены формированием устойчивого снежного покрова в бассейне озера в холодный период года, замерзанием отдельных участков рек, а сравнительно большие характерны преимущественно для рек с подземным питанием.

Таблица 1.

## Зимние минимальные декадные расходы и расходы зимнего периода рек бассейна озера Севан [5]

Река – пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Средняя высота водосбора, м	Период наблюдений, годы	Зимние декадные минимальные расходы		Средний расход зимнего периода, м <sup>3</sup> /с
				Средний расход, м <sup>3</sup> /с	Модуль стока, л/(с • км <sup>2</sup> )	
Р. Дзыкнагет – п. Цовагюх	82,6	2220	1936–39, 1941–44, 1947–2017	0,14	1,69	0,22
Р. Драхтик – п. Драхтик	39,2	2270	1958–63, 1972–92, 1999–2017	0,045	1,15	0,08
Р. Памбак – п. Памбак	20,4	2540	1947–50, 1952–53, 1955–68, 1970–89, 1998–2017	0,069	3,38	0,09
Р. Масрик – п. Цовак	673	2310	1953–2017	2,33	3,46	2,60
Р. Карчахпюр – п. Карчахпюр	116	2650	1952–63, 1965–94, 1998–2017	0,84	7,24	0,96
Р. Ваденис – п. Варденик	117	2760	1935–38, 1940–43, 1945–46, 1949–94, 1998–2017	0,49	4,19	0,67
Р. Мартуни – п. Геховит	84,5	2760	1963–2017	0,64	7,57	0,74
Р. Аргичи – п. Геташен	366	2470	1935–2017	1,96	5,36	2,33
Р. Цахкашен – п. Вагашен	92,4	2570	1971–99, 2004–2017	0,47	5,09	0,60
Р. Личк – п. Личк	33,0	2060	1960–62, 1976–94, 1998–2017	1,51	45,8	1,72
Р. Бахтак – п. Цаккар	144	2570	1951–2017	0,12	0,83	0,19
Р. Гаварагет – п. Норатус	467	2430	1936–44, 1947–48, 1950, 1952–92, 1998–2017	2,63	5,63	2,96

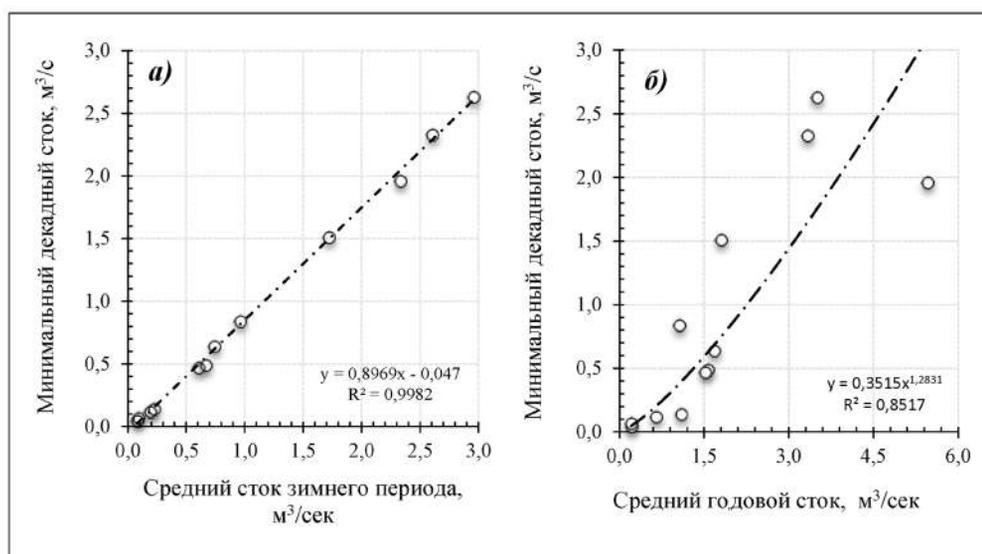


Рис. 2. Корреляционная связь между величинами зимнего минимального декадного стока и среднего стока зимнего периода (а), между величинами зимнего минимального декадного стока и среднего годового стока (б)

Получены тесные корреляционные связи между зимним минимальным декадным стоком и средним стоком зимнего периода, а также между зимним минимальным декадным стоком и средним годовым стоком на реках бассейна озера Севан. Эти связи можно использовать для полу-

чения зимних минимальных декадных расходов неизученных и мало изученных рек бассейна за календарный год (рис. 2). Наличие довольно тесной связи между ними свидетельствует о том, что насколько мал минимальный декадный сток, настолько же мал средний сток за зимний период,

Таблица 2

## Обеспеченность зимних минимальных декадных расходов рек бассейна озера Севан

Река – пункт	Обеспеченность зимних средних декадных минимальных расходов					
	75	80	90	95	99	99,9
Р. Дзыгнагет – п. Цовагюх	0,111	0,105	0,090	0,080	0,062	0,047
Р. Драхтик – п. Драхтик	0,023	0,019	0,011	0,007	0,002	0,000
Р. Памбак – п. Памбак	0,053	0,049	0,041	0,034	0,023	0,014
Р. Масрик – п. Цовак	2,00	1,91	1,67	1,46	1,06	0,591
Р. Карчахпюр – п. Карчахпюр	0,719	0,681	0,579	0,489	0,311	0,087
Р. Ваденис – п. Варденик	0,348	0,319	0,248	0,196	0,017	0,058
Р. Мартуни – п. Геховит	0,552	0,536	0,501	0,474	0,431	0,390
Р. Аргичи – п. Геташен	1,61	1,54	1,36	1,22	0,977	0,749
Р. Цахкашен – п. Вагашен	0,385	0,361	0,298	0,245	0,140	0,016
Р. Личк – п. Личк	1,09	1,03	0,865	0,750	0,570	0,419
Р. Бахтак – п. Цаккар	0,065	0,055	0,034	0,022	0,008	0,002
Р. Гаварагет – п. Норатус	2,37	2,31	2,16	2,04	1,83	1,61

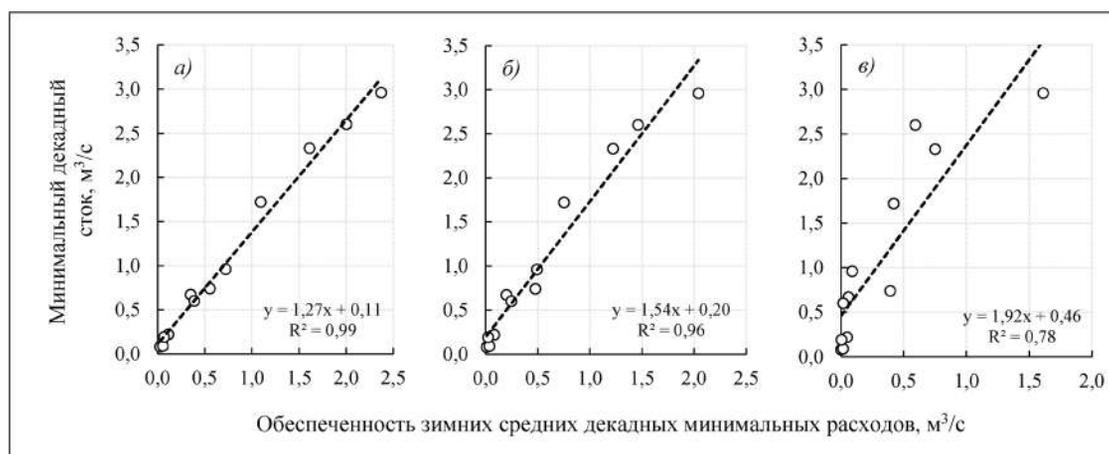
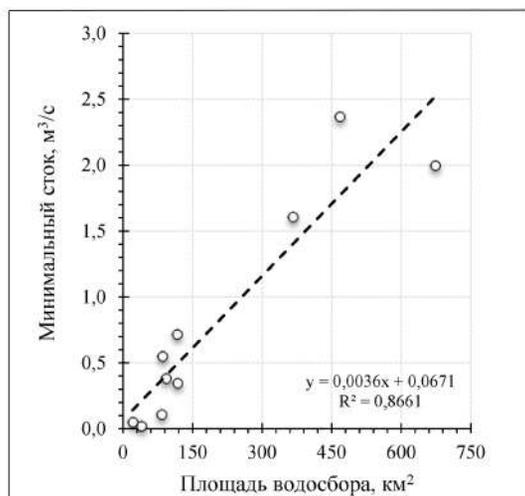


Рис. 3. Корреляционная связь между величинами зимнего минимального декадного стока и обеспеченностью зимнего минимального декадного стока соответственно – 75 %-ной (а), 95 %-ной (б), 99,9 %-ной (в)

и наоборот. В качестве минимального декадного стока выбрано наименьшее значение декадных стоков зимнего периода. Поэтому минимальный декадный сток намного меньше, чем средний сток зимнего периода. Эта тесная связь обусловлена тем, что в зимний период в целом изменчивость стока небольшая, что связано в основном с подземным питанием рек в этот период года. Величины среднего стока зимнего периода колеблются в пределах 0,08–2,96 м<sup>3</sup>/с, а среднего годового стока – 0,21–5,46 м<sup>3</sup>/с (таблица 1).

Рассчитана степень риска зимних декадных минимальных расходов рек изучаемой территории с обеспеченностью 90, 95, 99, 99,9%, соответ-

ственно с повторяемостью раз в 10, 20, 100 и 1000 лет (таблица 2). Исследования свидетельствуют, что связь между зимним минимальным декадным стоком и их обеспеченностью довольно тесная (рис. 3). Причем чем больше обеспеченность, тем меньше проявляется связь между указанными величинами. Эту зависимость можно применить при расчете обеспеченности минимального стока неизученных рек. Величины зимних декадных минимальных расходов с обеспеченностью 90, 95, 99, 99,9% соответственно колеблются в пределах 0,023–2,37; 0,019–2,31; 0,011–2,16; 0,007–2,04; 0,002–1,83; 0,0–0,21 м<sup>3</sup>/с. Как правило, с ростом обеспеченности уменьшаются значения зимних декадных минимальных расходов.

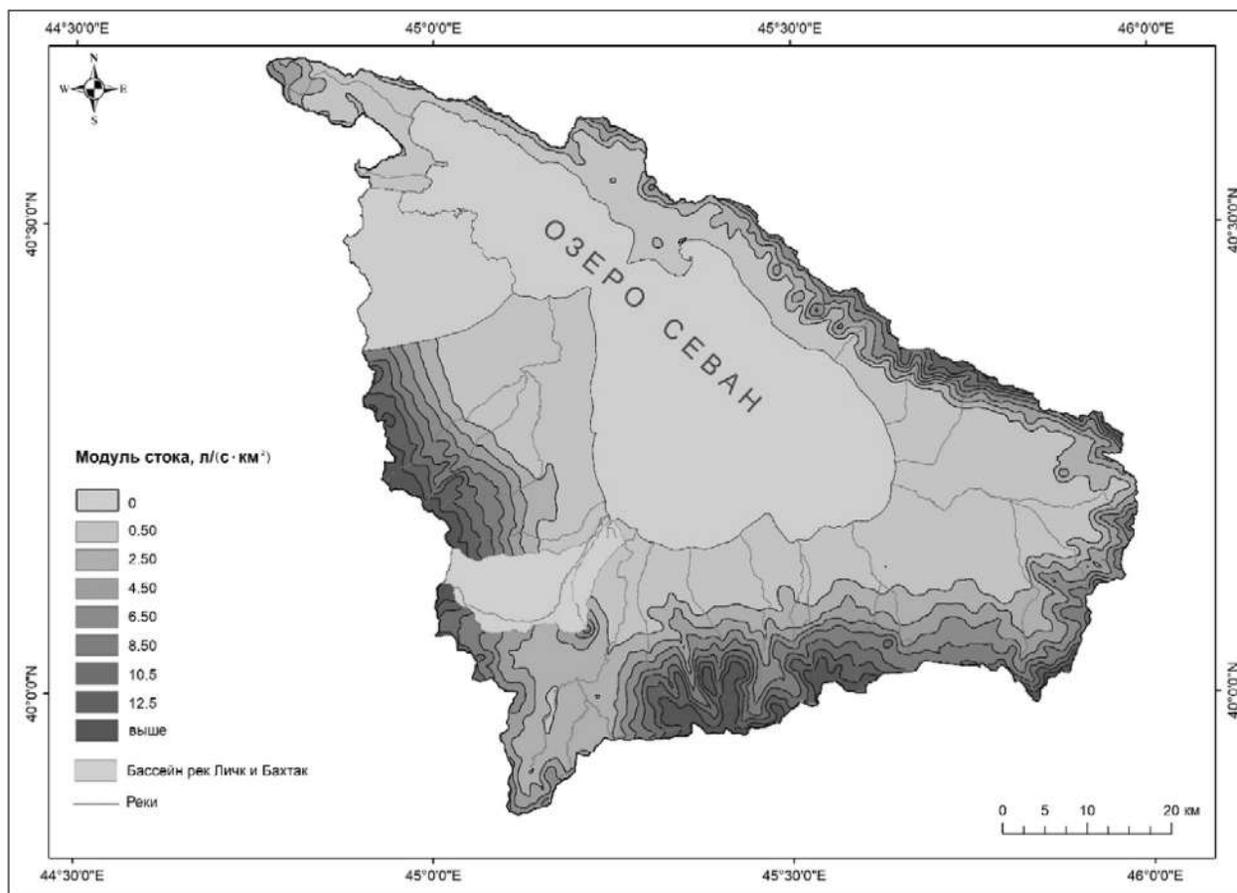


**Рис. 4.** Зависимость 75 %-ной обеспеченности зимнего минимального декадного стока  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) от площади водосбора  $F$  ( $\text{км}^2$ ) в бассейне озера Севан

В работе рассмотрены закономерности зависимости изменений 75 %-ной обеспеченности зимнего минимального декадного стока от факторов подстилающей поверхности – площадей водосборов и их средних высот. Анализируя по-

лученные данные (**рис. 4**), можно отметить, что для рассматриваемой территории наблюдается закономерное повышение минимальных модулей стока с увеличением площадей водосборов. Зависимости имеют линейный характер и подтверждаются значимыми коэффициентами корреляции. Эти связи также можно использовать для получения 75 %-ной обеспеченности зимних минимальных декадных расходов неизученных и мало изученных рек исследуемой территории за календарный год. Площади водосбора  $F$  ( $\text{км}^2$ ) рек на территории бассейна озера Севан составляют от 20,4 (р. Памбак – п. Памбак) до 673  $\text{км}^2$  (р. Масрик – п. Цовак). Полученные зависимости также можно использовать для предварительных расчетов зимнего минимального декадного стока неизученных рек рассматриваемой территории.

Учитывая, что рассматриваются горные регионы, построены графики зависимости исследуемой величины от средних высот водосборов. Эти вопросы частично рассмотрены [9 и др.], но имея в виду недостаточное количество надежных данных, требуется более углубленное их изучение,



**Рис. 5.** Бассейн озера Севан. Распределения модуля среднего минимального зимнего стока за декаду с наиболее низкой водностью 75 %-ной обеспеченности в бассейне озера Севан

Таблица 3

## Уравнения линейных трендов и статистических характеристик зимнего минимального декадного стока

Река – пост	Уравнение линейного тренда	Коэффициент корреляции, R <sup>2</sup>	Статистическая характеристика		
			$\beta$ (м <sup>3</sup> /с /10 лет)	$\Delta Q_{\text{мин},50}$ м <sup>3</sup> /с	$\bar{\sigma}$ , м <sup>3</sup> /с
Р. Дзыкнагет – п. Цовагюх	$y = 0,0004x - 0,627$	0,040	0,004	0.020	0,009
Р. Драхтик – п. Драхтик	$y = 0,0012x - 2,302$	0,574	0,012	0.060	0,011
Р. Памбак – п. Памбак	$y = 0,0002x - 0,288$	0,028	0,002	0.010	0,006
Р. Масрик – п. Цовак	$y = -0,0067x + 15,70$	0,063	-0,067	-0.335	0,139
Р. Карчахпюр – п. Карчахпюр	$y = 0,0072x - 13,43$	0,486	0,072	0.360	0,066
Р. Ваденис – п. Варденик	$y = 0,0003x - 0,164$	0,002	0,003	0.015	0,038
Р. Мартуни – п. Геховит	$y = -0,0019x + 4,320$	0,060	-0,019	-0.095	0,031
Р. Аргичи – п. Геташен	$y = 0,0130x - 23,74$	0,417	0,130	0.650	0,099
Р. Цахкашен – п. Вагашен	$y = 0,0013x - 2,143$	0,020	0,013	0.065	0,034
Р. Личк – п. Личк	$y = -0,0133x + 28,09$	0,092	-0,133	-0.665	0,266
Р. Бахтак – п. Цаккар	$y = -0,0022x + 4,433$	0,319	-0,022	-0.110	0,018
Р. Гаварагет – п. Норатус	$y = -0,0050x + 12,56$	0,103	-0,050	-0.250	0,088

принимая во внимание все особенности физико-географических условий региона. Построена карта распределения модуля среднего минимального зимнего стока за декаду с наиболее низкой водностью 75 %-ной обеспеченности (рис. 5).

В работе изучены временные изменения зимних минимальных декадных расходов рек бассейна озера по отдельным постам. Получены корреляционные связи между зимними минимальными декадными расходами и январским среднемесячным стоком, особенно на реках бассейна, выделяющихся подземным питанием. На исследованных реках зимние минимальные декадные расходы наблюдаются преимущественно в январе. С помощью этих связей, имея данные о среднемесячном стоке января, можно спрогнозировать зимние минимальные декадные расходы указанных рек бассейна озера на календарный год. Для всех действующих постов рек бассейна озера построены графики изменений минимальных декадных расходов. Среди изученных 12 постов в 7 случаях (58%) наблюдается выраженная тенденция роста зимних средних декадных минимальных расходов, на 42 % – уменьшения. Можно предположить, что это связано с уменьшением запасов подземных вод, и эта проблема требует дополнительного всестороннего изучения. Такие результаты были получены и в других регионах нашей планеты [10, 11].

В таблице 3 приведены уравнения линейных трендов, статистические характеристики (коэффициенты трендов  $\beta$  (м<sup>3</sup>/с /10 лет), стандартные

ошибки и т.д.) зимнего минимального декадного стока в бассейне озера Севан. Из таблицы видно, что статистически значимые коэффициенты линейного тренда отмечаются на р. Аргичи в п. Геташен, где он равен 0,13 м<sup>3</sup>/с /10 лет, что в пересчете на 50 лет ( $\Delta Q_{\text{мин},50}$ ) дает увеличение зимнего минимального декадного стока на 0,65 м<sup>3</sup>/с, и на р. Личк в п. Личк, где он равен -0,133 м<sup>3</sup>/с /10 лет, что в пересчете на 50 лет ( $\Delta Q_{\text{мин},50}$ ) дает уменьшение зимнего минимального декадного стока на 0,67 м<sup>3</sup>/с.

В тех реках, где наблюдается тенденция уменьшения зимних декадных минимальных расходов, речные экосистемы становятся более уязвимыми. В этом случае степень риска объемов водопотребления резко возрастает, так как в речном русле не соблюдаются минимальные объемы экологического стока. Особенно неблагоприятное экологическое состояние наблюдается в тех речных бассейнах, где интенсивно развита гидроэнергетика. В некоторых частях речных бассейнов изучаемой территории такие риски существуют. С другой стороны, в результате неэффективного водозабора из рек сток малых рек очень часто почти полностью расходуется, в результате чего часть их зимой полностью замерзает.

Для оценки влияния климатических факторов на сток рек рассмотрены также временной ход средних температур приземного слоя воздуха и атмосферных осадков за зимний период для бассейна озера за имеющиеся периоды наблюдений

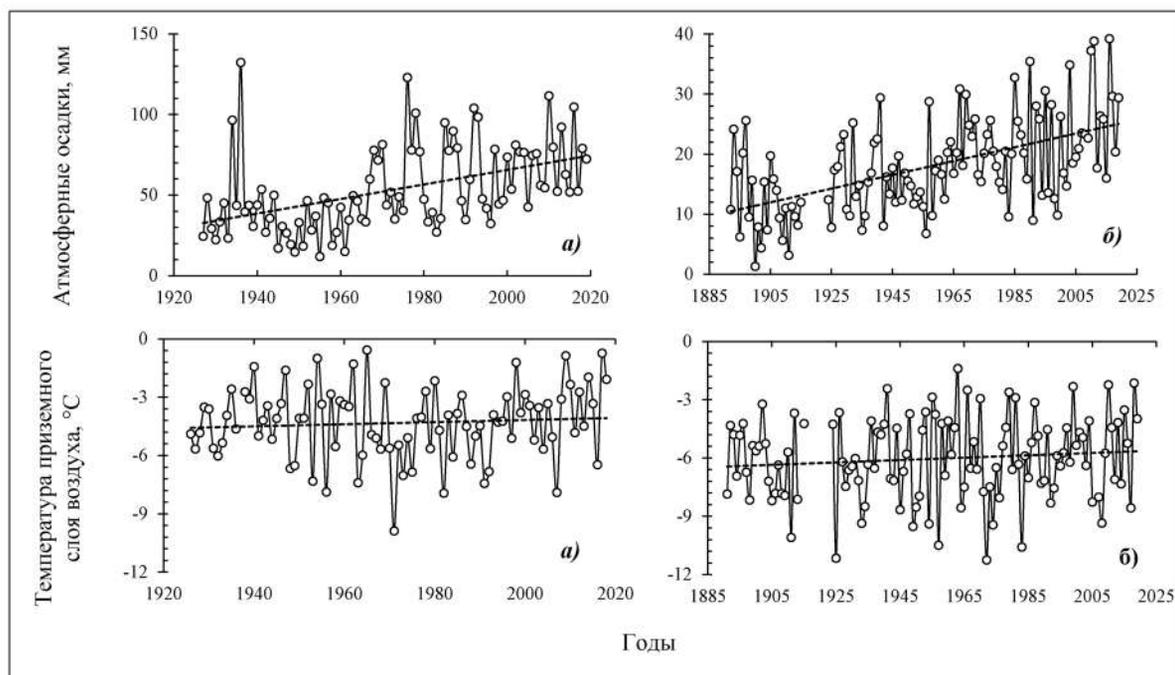


Рис. 6. Линии тренда межгодового хода средних температур приземного слоя воздуха (°C) и атмосферных осадков (мм) за зимний период в бассейне оз. Севан. а) Севан, б) Гавар

(рис. 6). Анализ линий трендов показывает, что на всех действующих в настоящее время метеостанциях бассейна наблюдается тенденция роста температур воздуха и атмосферных осадков. Такая изменчивость за зимний период обуславливает преимущественно положительную динамику изменения зимних минимальных декадных расходов бассейна озера Севан.

Таким образом, в минимальном стоке рек выявлены различные тренды, которые обусловлены случайными изменениями, а также отражают климатические изменения. Полученные результаты имеют 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

На основе проведенных исследований можно сделать такие выводы:

- Зимние минимальные декадные расходы распределены неравномерно и составляют от 0,045 (р. Драхтик – п. Драхтик) до 2,63 (р. Гаварагет – п. Норатус) м<sup>3</sup>/с, средний зимний сток – 0,08–2,96 м<sup>3</sup>/с, а средний годовой сток – 0,21–5,46 м<sup>3</sup>/с.

- Получены тесные корреляционные связи между зимним минимальным декадным стоком и средним стоком зимнего периода, а также между зимним минимальным декадным стоком и средним годовым стоком на реках бассейна озера Севан, которые можно использовать для определения зимних минимальных декадных расходов неизученных и мало изученных рек изучаемой территории на календарный год.

- Построена карта распределения модуля среднего минимального зимнего стока за декаду с наиболее низкой водностью 75 %-ной обеспеченности.

- У большинства рек, впадающих в озеро Севан (из изученных показаний 12 постов – 7, то есть в 58% случаях), наблюдается тенденция роста зимних среднедекадных минимальных расходов. Исключение составляют реки Масрик, Мартуни, Бахтак, Личк и Гаварагет.

- Статистически значимые коэффициенты линейного тренда отмечаются на р. Аргичи в п. Геташен, где он равен 0,13 м<sup>3</sup>/с /10 лет, что в пересчете на 50 лет ( $\Delta Q_{\text{мин},50}$ ) дает увеличение зимнего минимального декадного стока на 0,65 м<sup>3</sup>/с и на р. Личк в п. Личк, где он равен –0,133 м<sup>3</sup>/с /10 лет, что в пересчете на 50 лет ( $\Delta Q_{\text{мин},50}$ ) дает уменьшение зимнего минимального декадного стока на 0,665 м<sup>3</sup>/с.

- На всех действующих в настоящее время метеостанциях бассейна наблюдается тенденция роста температур воздуха и атмосферных осадков.
- Тенденция понижения зимних минимальных декадных расходов рек, впадающих в озеро Севан, обусловлена уменьшением запасов подземных вод, что связано с водопотреблением.
- Тенденция повышения зимних минимальных

декадных расходов рек обусловлена положительной изменчивостью температуры воздуха и атмосферных осадков за зимний период.

- Тенденции изменения зимних минимальных декадных расходов рек бассейна озера Севан нужно учитывать при решении водохозяйственных проблем, а также вопросов охраны водных ресурсов.

### References [Литература]:

1. Vardanyan L.R., Azizyan L.V. (2014). Forecast of low-water season flow based on the underground water depletion curve on the example of the RA Rivers. *Proceedings of State Engineering University of Armenia. Series Hydrology and hydraulic engineering*. Iss. 17, 1, 18–26. [In Russian].  
[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.]
2. Vardanian T.G. (1991). The minimal flow of the river Argidji in winter and the methods of its calculation. *Proceedings of the Yerevan State University, series Geology and Geography*, 2, 150–156. [In Armenian].  
[Варданян Т. Г. Зимний минимальный сток р. Аргичи и его расчет // Уч. зап. Ереван. гос. ун-та. Сер. Геология и География. 1991. № 2. С.150–156. (На армянском яз.)]
3. *Surface water resources of the USSR*. Vol. 9. *The Araks River basin*. Iss. 2. Ed A.P. Muranov. (1973). Leningrad, 472 p. [In Russian].  
[Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 9. Бассейн р. Аракса. Вып. 2. Под ред. А.П. Муранова. Ленинград, 1973, 472 с.]
4. Margaryan V.G., Davtyan T.M., Amroyan A.M., Churshudyan S.A., Sargsyan K.G., Matevosyan V.A. (2018). Analysis and assessment of changes in the winter minimum mean decadal water flow in the tributaries of lake Sevan. *Contemporary issues of geography and geology. Dedicated to the 100th Anniversary of the Yerevan State University, International Conference Proceedings September 27-29, 2018, Yerevan*. Yerevan, 242–246. [In Armenian].  
[Анализ и оценка изменения зимних наименьших среднедекадных расходов воды притоков озера Севан / В.Г. Маргарян, Т.М. Давтян, А.М. Амроян, С.А. Хуршудян, К.Г. Саргсян, В.А. Матевосян. // Современные задачи географии и геологии. (Мат-лы междунар. симпозиума, посвященного 100- летию основания Ереванского Гос. Ун-та, Факультет Географии и геологии, Ереван, 27–29 сентября, 2018). 2018. С. 242–246. (На армянском яз.)]
5. Margaryan G.D., Avetisyan A.V., Poliakov A.V. (2020). Regularities of the spatio-temporal distribution of winter minimum ten-day runoff in rivers of lake sevan basin. *Izvestiya Tula State University, Sciences of Earth*, 1, 92–108. [In Russian].  
[Маргарян В.Г., Аветисян Г.Д., Поляков А.В. Закономерности пространственно-временного распределения зимнего минимального декадного стока рек бассейна озера Севан // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2020. Вып. 1. С. 92–108.]
6. Muradyan Z.Z. (2014). *Calculations and risk assessment of the extreme outcomes of the rivers of the Araks Basin of the Republic of Armenia*. Thesis for the degree of candidate of geographical sciences. Yerevan, 32 p. [In Armenian].  
[Мурадян З.З. Расчет и оценка риска экстремальных расходов рек бассейна Аракс Республики Армения. Автореф. дисс. ...канд. геогр. наук. Ереван. 2014. 32 с. (На армянском яз.)]
7. Shaginyan M.V., Mnatsakanyan B.P. (1982). About the possibility of forecasting low-flow runoff through the groundwater levels. *Collected Works of the Yerevan GMO*. Iss. 4, 36 – 39. [In Russian].  
[Шагинян М.В., Мнацакян Б.П. О возможности прогнозирования меженного стока по уровням грунтовых вод // Сборник работ Ереванской гидрометеорологической обсерватории. Вып. 4. 1982. С. 36–39.]
8. Vladimirov A.M. (1990). *Hydrological calculations*. Leningrad, 366 p. [In Russian].  
[Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. Ленинград, 1990. 366 с.]
9. *Hydrography of the Armenian SSR*. (1981). Yerevan, 177 p. [In Russian].  
[Гидрография Армянской ССР. Ереван, 1981. 177 с.]
10. Frolova N.L., Belyakova P.A., Grigor'ev V.Yu., Sazonov A.A., and Zotov L.V. (2017). Many-year variations of river runoff in the selenga basin. *Water Resources and the Regime of Water Bodies*. Vol. 44, 3, 359–371. doi.org/10.1134/S0097807817030101
11. Rets E.P., Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Frolova N.L., Durmanov I.N., Telegina A.A., Telegina E.A., Grigoriev V.Y. (2018). Recent trends of river runoff in the North Caucasus. *Geography, environment, sustainability*, 11(3), 61–70.

Статья поступила в редакцию 24.03.2020