

УДК 556.5: 556.113.2

ЗИМНИЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК БАССЕЙНА ДЕБЕД (АРМЕНИЯ)

В.Г. Маргарян¹, Н.Л. Фролова², Е.В. Гайдукова³, А.М. Седракян⁴

¹ Ереванский государственный университет, географический и геологический факультет, кафедра физической географии и гидрометеорологии, доц., канд. геогр. наук; e-mail: vmargaryan@ysu.am

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, зав. кафедрой, проф., д-р геогр. наук; e-mail: frolova_nl@mail.ru

³ Российский государственный гидрометеорологический университет, Институт гидрологии и океанологии, кафедра инженерной гидрологии, доц., канд. техн. наук; e-mail: oderiut@mail.ru

⁴ Национальный политехнический университет Армении, факультет прикладной математики и физики, кафедра физики, доц., канд. физ.-мат. наук; e-mail: asedrakyan@seua.am

Рассмотрены особенности термического режима рек бассейна Дебед в холодное время года (декабрь – март), закономерности их временных колебаний. С целью оценки реакции термического режима рек на изменения климата представлены также особенности пространственно-временной динамики температуры воздуха. В качестве исходных данных использованы данные наблюдений тринадцати гидропостов за температурой воды рек бассейна р. Дебед и температурой воздуха по шести метеостанциям.

Получена корреляционная связь между средними значениями температуры воды и температуры воздуха за декабрь – март в бассейне р. Дебед. Показано, что температура воды в реках в холодный период года почти всегда выше температуры воздуха. Наименьшая средняя месячная температура воды на всех реках отмечается в конце января. Вниз по течению она в основном постепенно возрастает. В среднем за 1964–2018 гг. в холодное время года температура воды колеблется в пределах от 1,1 до 4,4°C.

Для расчета температуры воды на неизученных участках рек получены корреляционные зависимости между ее значениями за холодный период года и площадью водосбора рек, а также зависимости между среднемесячными значениями температуры воды за холодный период и за периоды различной продолжительности.

На действующих в настоящее время метеостанциях и гидропостах наблюдается существенный, в основном статистически значимый рост температуры воздуха и воды за 1984–2018 гг. А за 1964–1983 гг. наблюдается как повышение, так и уменьшение температуры воды и воздуха, но с преобладающим повышением.

Полученные результаты могут быть использованы для расчетов теплового стока, рассмотрения термического режима неизученных бассейнов, для оценки гидроэкологической безопасности территории бассейна р. Дебед.

Ключевые слова: корреляционная связь, линейный тренд, многолетние изменения, статистические характеристики, температуры воды и воздуха, холодный период года

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.5

ВВЕДЕНИЕ

Исследование термического режима рек – важная научная и практическая задача.

Под термическим режимом рек, как правило, понимается либо режим температуры воды, либо режим теплового стока реки, либо вся совокупность происходящих в реках тепловых процессов [Василенко и др., 2020], закономерно повторяю-

щиеся изменения теплового состояния водотоков [Кузьмина, 2013].

Температура речных вод является важным показателем при использовании вод в хозяйстве [Дудник и др., 2014], хорошим индикатором климатических изменений [Marszelewski, Pius, 2016], важной гидроэкологической характеристикой, прямо или косвенно влияющей на ряд гидрологических и экологических

процессов [Василенко и др., 2020]. Температура воды является одним из экологических параметров, который определяет общее состояние водных экосистем. Температура воды имеет как экономическое, так и экологическое значение при рассмотрении таких вопросов, как качество воды и биотические условия в реках [Coutant, 1999]. Термический режим рек играет важную роль в общем состоянии водных экосистем, включая вопросы качества воды и распределение гидробионтов [Caissie, 2006].

От температуры воды зависит концентрация растворенного газа и взвешенных наносов [Webb, Nobilis, 2007], содержание в ней растворенного кислорода, а следовательно, интенсивность процессов самоочищения рек, выживаемость и видовой состав различных гидробионтов, в том числе ценных пород рыб [Василенко и др., 2020], скорость роста водных организмов [Elliott, Hurley, 1997; Jensen, 1990], а также их распространение [Ebersole et al., 2001].

В то же время термический режим может влиять на использование рек людьми для отдыха, бытового водоснабжения, орошения и промышленного охлаждения. В свою очередь, деятельность человека может существенно изменить термический режим реки из-за сброса нагретых стоков, создания плотин, методов ведения лесного хозяйства и забора воды [Dymond, 1984; Mellina et al., 2002; Webb, Nobilis, 2007]. Кроме того, согласно прогнозам, в текущем столетии в результате глобального потепления произойдут значительные изменения температуры воды в реках [Mohseni et al., 2003; Webb, Nobilis, 2007].

Изменения температуры воды в реке влияют на ледовый режим [Маргарян, 2021], химические и биологические процессы, перенос взвешенных наносов потоком, минерализацию, химический состав растворенных веществ, качество воды [Дудник и др., 2014], на временные колебания речного стока [Sinokrot, Gulliver, 2000]. Сезонные и суточные колебания температуры воды являются важными детерминантами распределения гидробионтов [Vannote et al., 1980]. Изменчивость температуры воды может происходить естественным образом при изменении климата и водного режима или в результате антропогенных возмущений, таких как тепловое загрязнение, сведение лесов [Caissie, 2006].

Несмотря на актуальность темы, исследованию термического режима и теплового стока водотоков РА посвящено очень мало научных работ. В настоящее время интерес к рассматриваемой теме преимущественно обусловлен необходимостью изучения проявлений изменений климата в термическом режиме рек [Алексеевский и др., 2014; Василенко и др., 2020; Дудник и др., 2014; Кузьмина, 2013; Шешко, Кухаревич, 2020; Marszelewski, Pius, 2016].

А также нельзя не отметить, что тепловые характеристики рек часто, в том числе в последние годы, описываются в рамках работ биологической тематики (альгология, ихтиология), однако, как правило, это ограниченные во времени экспедиционные наблюдения [Василенко и др., 2020]. Данные исследования редки и для Республики Армения. Обобщения еще более редки в отношении пространственно-временной изменчивости термического режима водотоков в условиях климатических изменений. В основном изучению термического режима рек РА уделялось внимание в работах [Гидрография Армянской..., 1981; Григорян, 1999; Ресурсы..., 1969; 1973]. Однако в этих исследованиях не учтены данные наблюдений за термическим режимом рек за последние 3–4 десятилетия и более. Данные до 2010 г. приведены в работах, посвященных исследованию изменений термического режима рек в регионе Агстев – Тавуша [Маргарян, 2013], рек бассейна Воротан [Маргарян, 2014]. В 1960–1970 гг. проведены статистические и географические обобщения данных о температуре воды рек АрмССР в изданиях справочника «Ресурсы поверхностных вод СССР» [Ресурсы..., 1969; 1973]. Нами впервые предпринята попытка оценить термический режим рек всего бассейна Дебед, используя длительный ряд данных инструментальных наблюдений (1939–2018) на гидропостах и метеостанциях, работающих до настоящего времени в пределах его территории.

Для учета особенностей термического режима рек можно использовать деление на четыре сезона: весеннее нагревание, летнее нагревание, осеннее охлаждение, зимнее охлаждение. Каждый сезон года отличается средней величиной температуры воды и ее сезонной вариацией. Зимнее охлаждение – период близких к 0°C температур воды в случае ледостава или низких и устойчивых температур в его отсутствие [Кузьмина, 2013]. В данной работе оцениваются особенности термического режима рек за холодный период года (с декабря по март).

Цель данного исследования – выявить и оценить особенности термического режима рек за холодный период года за последние 80 лет (1938–2018) в бассейне р. Дебед, а также оценить изменения температуры воздуха за период наблюдений, их влияние на термический режим рек.

Река Дебед впадает в Храми – приток р. Куры за пределами Республики. Дебед получает свое название после слияния двух крупных притоков – Памбак и Дзорагет (рис. 1). Река Памбак (длина 84 км, площадь водосбора 1370 км²) считается верхним течением р. Дебед. Длина р. Дебед с этим притоком – 178 км (в пределах изучаемой территории 152 км), площадь – 4080 км² (в пределах территории 3790 км²). Река Дзорагет имеет длину 67 км, а пло-

щадь водосборного бассейна – 1460 км². Реки Дзорагет и Памбак сливаются на высоте 870 м. Ниже их слияния к крупным притокам р. Дебед относятся реки Марц и Шнох [Маргарян, 2018; 2021]. Река Де-

бед является трансграничной: начало берет в Армении и впадает в правый приток р. Куры в Грузии. Данная особенность реки Дебед делает исследование актуальным для двух стран.

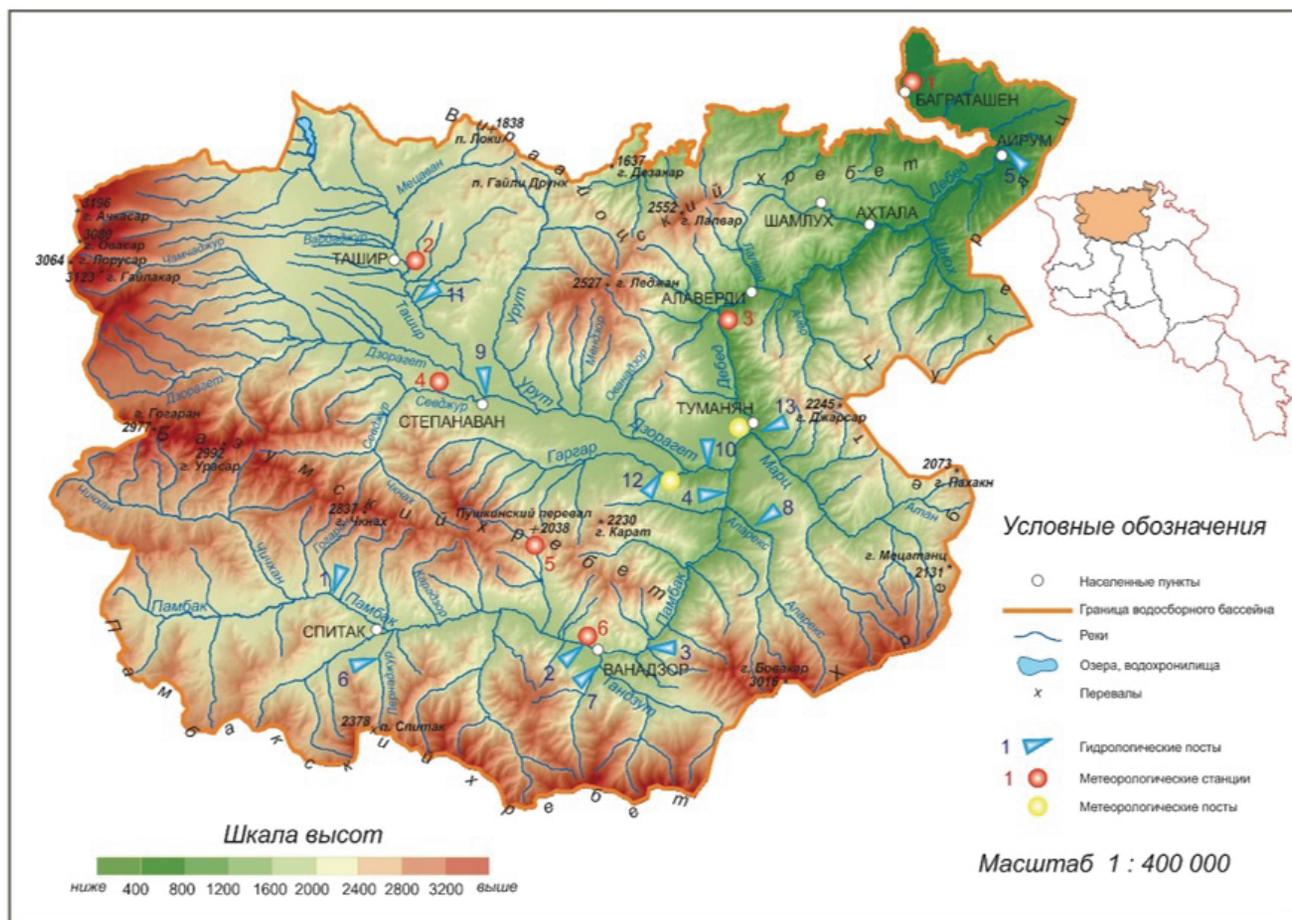


Рис. 1. Сеть метеорологических станций и гидрологических постов в бассейне р. Дебед.

Примечание. Порядковые номера на карте и в табл. 1 аналогичны.

Fig. 1. Network of meteorological stations and stream gauges in the Debed River basin.

Note. The numbers of gauges indicated on the map correspond to the ordinal numbers indicated in Table 1

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач в качестве методической основы были взяты соответствующие опубликованные работы [Артамонов и др., 2020; Гидрография..., 1981; Иванов и др., 2022; Методические указания..., 1981; Михайлов, 2009; Ресурсы..., 1973]. В качестве исходного материала для проведения данной работы использованы фактические данные по температуре воздуха и воды с декабря по март за период с 1935 по 2018 г., представленные «Центром гидрометеорологии и мониторинга» ГНКО Министерства окружающей среды Республики Армения. В настоящее время наблюдения за температурой воды проводятся на 13 гидрологических постах, а за температурой воздуха – на

шести метеорологических станциях (см. рис. 1), данные наблюдений по которым использовались для обобщения.

На термический режим рек существенное влияние оказывает фактор вертикальной зональности, и важно знать, насколько обеспечены отдельные высотные зоны гидрологическими постами и метеостанциями. Для изучаемой территории используемые 13 постов распределены неравномерно. Их наибольшее количество приходится на высоты 1000–1500 м (61% общего числа пунктов), на высоты до 1000 м приходится 31% постов, на высоты от 1500 до 2000 м – 8%. Наибольшее количество метеостанций (четыре из шести) расположено на высоте 1000–1500 м, на высоте до 1000 м распо-

ложена одна, на высоте от 2000 до 2100 м – также одна метеостанция. А на высотах 1500–2000 м и выше 2100 м данные наблюдений отсутствуют. Площади водосборов, относящиеся к указанным 13 водомерным постам, составляют от 106 до 3740 км², а средние взвешенные высоты – от 1680 до 2080 м (табл. 1). Влияние ледников на водосборе отсутствует.

Таблица 1

Список гидрологических постов на реках Дебедского бассейна (1935–2018)

Река – пост	Расстояние от устья, км	Высота, м	Уклон реки, ‰		Водосбор		
			Средний	Средне-взвешенный	Площадь, км ²	Средневзвешенная высота, м	Средний уклон, ‰
1. Памбак – п. Ширакамут	148	1606	22,5	15,6	359	2050	178
2. Памбак – п. Ванадзор	117	1318	–	–	886	–	–
3. Памбак – п. Гугарк	111	1254	14,3	11,6	1070	1980	195
4. Памбак – п. Туманян	92	897	15,5	12,7	1370	1920	223
5. Дебед – п. Айрум	40	476	12,7	11,1	3740	1770	188
6. Лернадзур – п. Лернапат	3,3	1442	–	–	128	–	–
7. Тандзут – п. Ванадзор	0,3	1314	67,0	51,0	155	2080	319
8. Аларекс – п. Дебет	2,1	992	79,6	68,3	106	2010	323
9. Дзорагет – п. Степанаван	27	1328	24,5	28,5	1000	1930	134
10. Дзорагет – п. Гаргар	4,4	973	22,0	19,3	1450	1860	97
11. Ташир – п. Саратовка	8,7	1464	31,7	24,3	439	1810	77,9
12. Гаргар – п. Курган	4,0	1232	43,9	42,8	123	1680	210
13. Марцигет – п. Туманян	0,1	826	41,9	36,6	251	1720	288

Систематические наблюдения над температурой воды начаты в 1938 г. и ведутся в настоящее время на гидрологических постах. Поскольку на реках не наблюдаются устойчивые ледовые образования [Маргарян, 2021], приводимую характеристику термического режима можно отнести к периоду открытой водной поверхности. Незначительные многолетние изменения температуры воды позволили при оценке межгодового хода использовать данные наблюдений за 1938–2018 гг. С другой стороны, учитывая, что некоторые гидрологические посты были открыты только в середине 1960-х гг., а также, что до 1950 г. наблюдения за температурой воды производились только утром (в 8:00), а с 1950 г. – два раза в сутки (в 8:00 и 20:00) [Маргарян, 2013; Ресурсы..., 1973], для возможности сравнения некоторые расчеты и построение графиков проводились за общий период наблюдений с 1964 г., который характеризуется однородностью, связанной с единообразными подходами в методах измерения температуры воды.

Средние месячные значения температуры воды вычислены из средних декадных значений. Последние, в свою очередь, получены как средние арифметические из измеренных в 8 и 20 часов с точностью

до 0,1°C. Измерения температуры воды производятся, как правило, в створе водомерных постов у берега и с термометрами различной точности. Поправка на неточность шкалы термометра, меняющаяся обычно в пределах 0,1–0,4°C, не вводилась.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Тепловые процессы и термический режим в водотоках обусловлены сочетанием множества факторов – орографии, гидрогеологических особенностей (главным образом, выходом подземных вод), климатическими особенностями, изменением водности, источников питания, почвенно-растительного покрова, гидравлическими свойствами и морфологическими характеристиками русла, а также хозяйственной деятельностью [Алексеевский, 2014; Гидрография..., 1981; Григорян, 1999; Ресурсы..., 1973]. Термический режим нерегулируемых рек на горных территориях в существенной мере зависит от орографических факторов. Их воздействие трансформирует широтное изменение температуры воздуха, а также соотношение источников питания рек, влияющих на особенности их термического режима. При наличии ледникового питания темпе-

ратура воды в реках будет ниже по сравнению с реками со смешанным питанием. Подземное питание повышает температуру речной воды в зимний период и понижает ее в остальные фазы термического режима [Кузьмина, 2013].

Так как в работах [Маргарян, 2018; 2021] представлены физико-географические особенности изучаемой территории, а в работах [Ресурсы..., 1973; Маргарян, 2013] – особенности формирования температуры воды, то здесь эти вопросы не рассматриваются. В работе [Caissie, 2006] описываются различные тепловые процессы, ответственные за

изменчивость температуры воды как во временном (например, суточный, сезонный), так и в пространственном масштабах, и главное, возможные методы оценки этой изменчивости.

При совместном влиянии вышеуказанных факторов температура воды рек изучаемой территории за период с декабря по март характеризуется неравномерным распределением – в среднем за 1964–2018 гг. колеблется в пределах от 1,1°C (р. Аларекс – п. Дебет) до 4,4°C (р. Памбак – п. Гугарк) (табл. 2). Вниз по течению рек температура воды, как правило, возрастает.

Таблица 2

Значения температур воды рек за декабрь – март 1964–2018 гг. (*1975–2018) на створах гидрологических постов в бассейне р. Дебед

Река – пост	Высота над уровнем моря, м	Месяц				Значения температур	
		XII	I	II	III	Среднее за декабрь – март	Среднее за год
1. Памбак – п. Ширакамут	1606	1,7	1,0	1,4	2,6	1,7	7,1
2. Памбак – п. Ванадзор*	1318	3,4	2,4	3,0	5,0	3,4	9,6
3. Памбак – п. Гугарк	1254	4,4	3,3	4,0	5,8	4,4	10,2
4. Памбак – п. Туманян	897	3,3	2,2	2,8	5,2	3,4	9,6
5. Дебед – п. Айрум	476	3,8	2,8	3,8	6,5	4,2	11,1
6. Лернадзур – п. Лернапат	1442	1,8	1,1	1,5	3,2	1,9	7,6
7. Тандзут – п. Ванадзор	1314	2,6	2,0	2,2	3,3	2,5	8,0
8. Аларекс – п. Дебет	992	1,0	0,4	0,7	2,2	1,1	7,2
9. Дзорагет – п. Степанаван	1328	3,4	2,7	3,0	4,5	3,4	8,3
10. Дзорагет – п. Гаргар	973	3,0	2,2	2,8	4,8	3,2	9,0
11. Ташир – п. Саратовка	1464	4,1	3,4	3,8	5,1	4,1	9,1
12. Гаргар – п. Куртан	1232	1,7	0,7	0,9	3,0	1,6	8,8
13. Марцигет – п. Туманян	826	1,3	0,5	1,0	3,3	1,5	8,6

Примечание. Номера постов в таблице соответствуют номерам постов на рис. 1.

Реки исследуемой территории имеют общую тенденцию к повышению температуры воды вниз по течению. Наинизшие значения средней температуры воды за декабрь – март наблюдаются в верховьях, с уменьшением высоты местности температура воды возрастает. Так, например, если в верховьях реки у п. Ширакамут на р. Памбак (среднее течение) средняя температура воды за декабрь – март равна 1,7°C, то у п. Айрум на р. Дебед (нижнее течение) она равна 4,2°C.

Средняя месячная температура воды во всех действующих створах рек бассейна Дебед за период с декабря по март в основном положительна или близка к нулю. Температура воздуха, согласно данным действующих в бассейне метеорологиче-

ских станций, за месяцы этого периода в основном имеет отрицательные значения. Средние январские температуры наблюдаются в пределах от –6,4°C (Пушкинский перевал) до 0,7°C (Баграташен), а с декабря по март – соответственно от –4,6°C (Пушкинский перевал) до 2,9°C (Баграташен). Средняя температура воздуха с декабря по март положительна также на метеостанции Одзун (0,9°C).

Температура воды рек (в холодный период года) почти всегда выше температуры воздуха (рис. 2). Сведения о температуре воздуха при этом берутся по данным метеостанции, расположенной примерно на той же высоте в том же водосборном бассейне рек. Годовой ход температуры речных вод в основном отражает годовой ход температуры воздуха.

Температура воды, как и воздуха, характеризуется плавным повышением, начиная с февраля – марта, продолжающимся до июля – августа, когда она достигает максимального значения. Наименьшая средняя месячная температура воды (от 0,4–0,5 до 3,3–3,4°C) на всех реках отмечается в конце января.

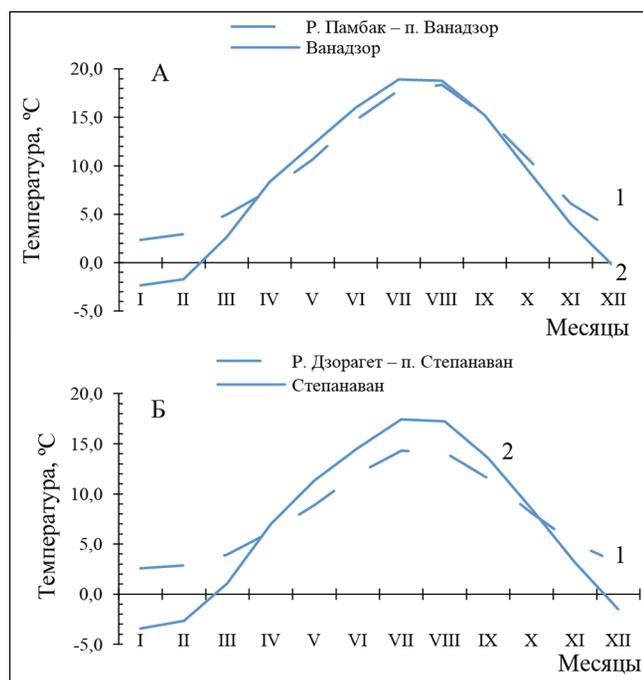


Рис. 2. Годовой ход температуры воды на водомерных постах (р. Памбак – п. Ванадзор (А, 1), р. Дзорагет – п. Степанаван (Б, 1)) и температуры воздуха на метеостанциях (Ванадзор (А, 2), Степанаван (Б, 2))

Fig. 2. Annual cycles of water temperature at water measuring stations (the Pambak River – Vanadzor st. (A, 1), the Dzoraget River – Stepanavan st. (B, 1)) and air temperature at meteorological stations Vanadzor (A, 2), Stepanavan (B, 2)

Обычно температура воды рек, текущих в горных условиях, связана с высотой местности [Ресурсы..., 1973; Маргарян, 2013]. Однако исследования показывают, что в холодное время года в бассейне реки Дебед эта закономерность проявляется в неявном виде.

В качестве определяющего фактора в формировании температуры воды может быть, например, площадь водосбора, которая косвенно связана с высотой местности: истоки рек, как правило, находятся в горных районах; чем ближе пост к истоку, тем меньше площадь его водосбора. Удаляясь от истока, площадь увеличивается и меняется характер формирования стока от горного, полугорного до равнинного. Территории с пониженными температурами воды, как правило, совпадают с наиболее высокими в орографическом отношении районами.

На рис. 3 представлена корреляционная связь между средними значениями температуры воды и температуры воздуха за декабрь – март для рек бассейна р. Дебед. Для месячной дискретизации закономерна прямая связь: с ростом температуры воздуха растет температура воды.

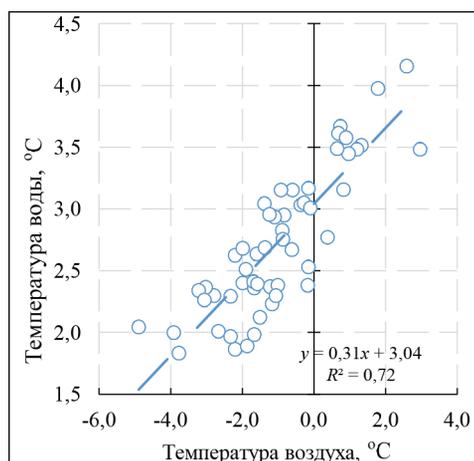


Рис. 3. Связь между средними значениями температуры воды и температуры воздуха за декабрь – март в бассейне р. Дебед

Fig. 3. Correlation between the average values of water temperature and air temperature for December – March in the basin of the Debed River

Так, у находящихся почти в высотной зоне рек Тандзут (п. Ванадзор, 1314 м) и Дзорагет (п. Степанаван, 1328 м) с площадями водосборов 155 и 1000 км² соответственно температура воды равна 2,5 и 3,4°C. Рассмотренные зависимости между температурой воды за холодный период и площадью водосбора представлены на рис. 4 отдельно для бассейна р. Памбак и р. Дзорагет – Дебед.

Это обусловлено особенностями физико-географических (в частности, гидрогеологических) условий бассейнов, о чем уже отмечалось в работе [Маргарян, 2021]. В работе [Самохвалов, Ухов, 2018] рассмотрена похожая связь температуры водотоков бассейна реки Колымы с их размерами (протяженность и площадь водосбора). Выявлена тенденция возрастания температур воды с увеличением размеров ручьев и рек.

Связи между среднемесячными значениями температуры воды (рис. 5А, Б), а также между средними значениями температуры воды за холодный период и за год (см. рис. 5Г) и за январь (В) для всех рассматриваемых рек бассейна р. Дебед выражается в виде кривой, изображенной на рис. 5. Эти графические связи можно использовать для получения приближенных средних значений температуры воды неизученных рек.

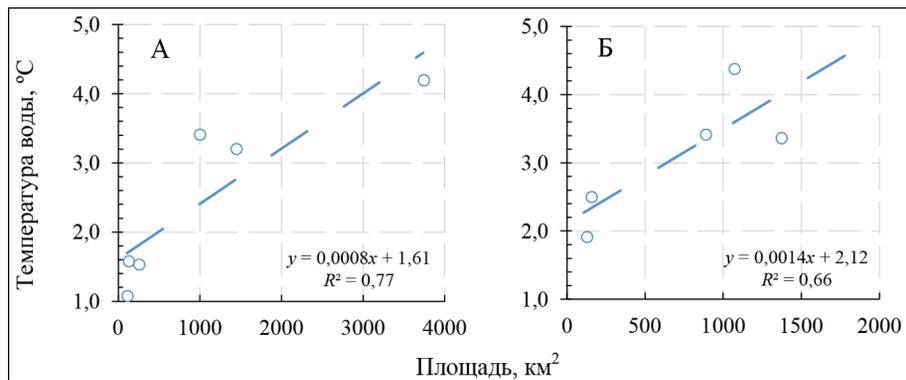


Рис. 4. Зависимость среднего значения температуры воды за декабрь – март от площади водосбора в бассейнах рек Дзорагет – Дебед (А) и Памбак (Б)

Fig. 4. Dependence of the average water temperature for December–March on the drainage basin area in the basins of the Dzoraget and Debed rivers (А), the Pambak River (Б)

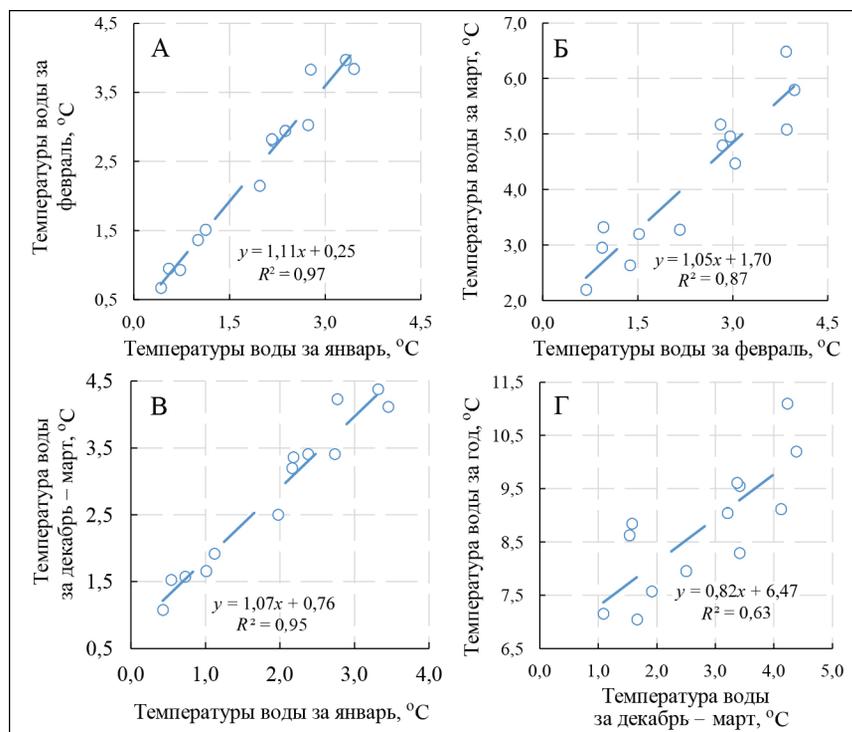


Рис. 5. Корреляционная связь между среднемесячной температурой воды (А, Б), средней температурой за декабрь – март и январь (В), средней температурой за декабрь – март и за год (Г)

Fig. 5. Correlation between the average monthly water temperature (А, Б), the average for December–March and for January (В), the average for December–March and for the year (Г)

Построены хронологические графики изменений средней температуры воды и воздуха за период декабрь – март в бассейне р. Дебед (рис. 6А, Б), а также по каждому гидропосту и метеорологической станции в отдельности (см. рис. 6В–Е). В рядах многолетних наблюдений преимущественно преобладает тенденция повышения температуры воды и воздуха, что подтверждается более ранними нашими исследованиями. Как пример на рис. 6 представлены межгодовые изменения температуры воздуха для метео-

станций на разных высотах: Степанаван – 1507 м (В), Одзун – 1105 м (Г) и температуры воды р. Дзорагет – п. Степанаван (Д) и р. Марцигет – п. Туманян (Е).

Однако при значительном диапазоне межгодовых колебаний четко виден перелом в ходе температур в начале – середине 1980-х гг., после чего началось их существенное повышение. Таким образом, очевидно, что: 1) было два отличающихся периода; 2) в первый из них, до начала 1980-х гг., тренды температуры воздуха не проявляли заметной положительной тенден-

ции; 3) существенный рост температуры воды после середины 1980-х гг. происходил прежде всего за счет значительного потепления. Расчеты для отдельных действующих в настоящее время метеостанций показали, что во всем бассейне р. Дебед независимо от высоты водосборов за 1984–2018 гг. наблюдается существенный рост температуры воздуха в декабре – марте. Такие закономерности проявляются также во всех действующих створах рек, кроме створов Ванадзор и Гугарк р. Памбак. А за 1964–1983 гг. наблюдается как повышение, так и уменьшение температуры воды и воздуха. При этом преобладают случаи повышения.

В зимний период за последние 40 лет температура воды повысилась также для большинства рек Приазовья и Предкавказья, южного склона Северного Кавказа [Кузьмина, 2013]. Эта закономерность

характерна также и для других регионов нашей планеты [Михайлов, 2009; Arismendi et al., 2013; Isaak et al., 2012; Langan et al., 2001]. Как правило, существующие исследования долгосрочных тенденций показывают, что температура воды в реках реагирует на изменения климата [Bartholow, 2005; Elliott et al., 2000; Kiffney et al., 2002], особенно на изменение такого метеорологического фактора, как температура воздуха, которую можно назвать основной причиной временных изменений температуры воды в реке [Дудник и др., 2014; Дмитриева, Бучик, 2021]. Повышение температуры воды сильно коррелировало с повышением температуры воздуха [Алексеевский, 2014; Михайлов, 2009; Langan et al., 2001; Marszelewski, Pius, 2016; Webb, Nobilis, 2007]. Влияние изменений стока на температуру в реках менее однозначно [Webb, Nobilis, 2007].

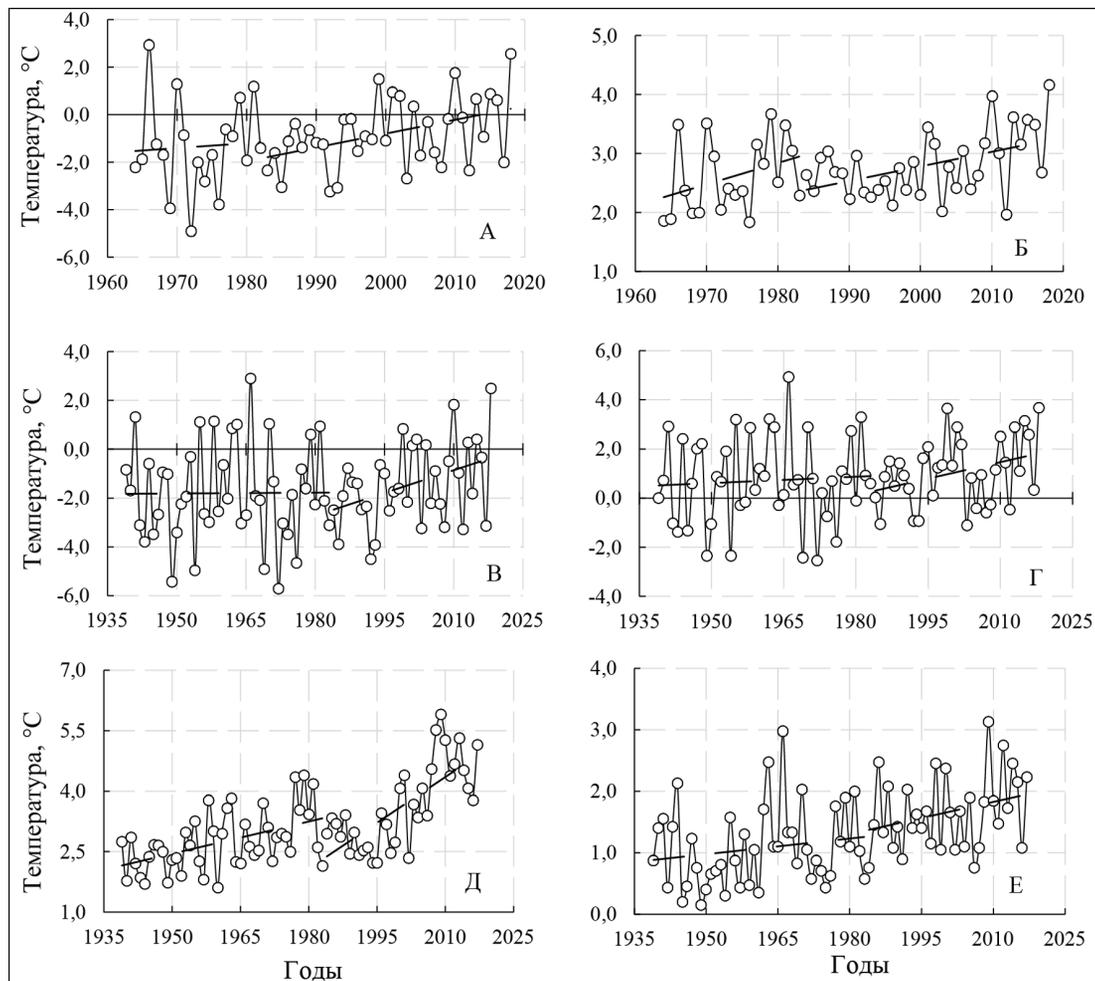


Рис. 6. Многолетние изменения средней температуры воды (А) и температуры воздуха (Б) за декабрь – март в бассейне р. Дебед (значения территориально осреднены).

Температура воздуха для метеостанций на разных высотах: В – Степанаван, 1507 м; Г – Одзун, 1105 м; температура воды: Д – р. Дзорагет – п. Степанаван; Е – р. Марцигет – п. Тумаян

Fig. 6. Long-term changes in the average water temperature (A) and air temperature (B) for December–March in the Debed River basin as a whole.

The air temperature for meteorological stations at different heights: B – Stepanavan, 1507 m; Г – Odzun, 1105 m; and in water temperatures: Д – the Dzoraget River, Stepanavan st. and E – the Martsiget River, Tumanyan st.

Величину изменений температуры воды и воздуха иллюстрирует табл. 3. Наибольшая скорость изменения (коэффициент линейного тренда) температуры, особенно воздуха, зафиксирована после середины 1980-х гг. В целом в бассейне р. Дебед за 1984–2018 гг. скорость изменения температуры воздуха составляет $+0,55^{\circ}\text{C}/10$ лет, а скорость изменения температуры воды – $+0,25^{\circ}\text{C}/10$ лет. На территории бассейна р. Дебед с 1964 по 1983 г. температура воды повысилась на $0,7^{\circ}\text{C}$, с 1984 по 2018 г. – на $0,9^{\circ}\text{C}$, а температура воздуха – соответственно на $0,1$ и $1,9^{\circ}\text{C}$. В целях выяснения наличия у исследуемых рядов монотонного (возрастающего или убывающего) тренда использован непараметрический критерий тренда Спирмена [Христо-

форов, 1988]. Практически для всех исследуемых рядов выявлены статистически значимые (при уровне значимости 5%) возрастающие тренды как для всего периода наблюдений (1939–2018), так и для 1984–2018 гг.

В бассейне р. Дебед статистические характеристики имеют следующие значения: средние квадратические отклонения за периоды 1964–1983 и 1984–2019 гг. для воды составляют 0,53 и 0,60 соответственно, коэффициент вариации – 0,19 и 0,23, а для температуры воздуха – 1,40 и 1,84; 1,32 и 1,94 соответственно. Наблюдается увеличение значений во второй период, характеризующее возрастающие среднемноголетние величины и изменчивость процессов.

Таблица 3

**Статистические характеристики изменения температур воздуха и воды
в разные периоды наблюдений**

Пост	Период, годы	Статистическая характеристика			
		Средняя температура за периоды, $^{\circ}\text{C}$	Скорость изменения температуры, $^{\circ}\text{C}/10$ лет	Изменения температуры, $^{\circ}\text{C}$	Среднее квадратическое отклонение
<i>Температура воды, $^{\circ}\text{C}$</i>					
Р. Дзорагет – п. Степанаван	1939–1983	2,7	+0,27	+1,2	0,70
	1984–2018	3,6	+0,76	+2,7	1,02
Р. Марцигет – п. Туманян	1939–1983	1,1	+0,09	+0,4	0,63
	1984–2018	1,6	+0,18	+0,6	0,58
Бассейн р. Дебед	1964–1983	2,6	+0,36	+0,7	0,60
	1984–2018	2,8	+0,25	+0,9	0,53
<i>Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$</i>					
Степанаван	1939–1983	–1,8	+0,01	+0,0	1,97
	1984–2018	–1,4	+0,62	+2,2	1,61
Одзун	1939–1983	0,7	+0,08	+0,4	1,74
	1984–2018	1,1	+0,45	+1,6	1,33
Бассейн р. Дебед	1964–1983	–1,4	+0,04	+0,1	1,84
	1984–2018	–0,7	+0,55	+1,9	1,40

Частичная оценка влияния возможного изменения средней температуры воздуха в холодное время года на температуру воды и ледовый режим рек изучаемого водосбора сделана также в работе [Маргарян, 2021].

ВЫВОДЫ

В высокогорной зоне, т. е. вблизи истоков, речные воды холодные, вниз по течению быстро прогреваются, и температура достигает наибольших значений в устьевых участках. Многолетняя сред-

няя температура воды с декабря по март за 1964–2018 гг. колеблется в пределах от $1,1$ до $4,4^{\circ}\text{C}$.

Для предварительной оценки температур воды неизученных или малоизученных рек получены корреляционные зависимости между величиной средних температур воды холодного периода и площадью водосбора бассейна. С увеличением площади водосборного бассейна повышается и температура воды рек.

Полученные корреляционные зависимости между средними месячными значениями температуры

воды холодного периода, а также между средними значениями температуры воды за холодный период и за год, между средними значениями температуры воды за холодный период и за январь можно использовать для получения приближенных средних значений температуры воды неизученных рек и для прогнозирования температуры воды за холодный период и за год.

В бассейне р. Дебед большая скорость изменения температуры воздуха зафиксирована с середины 1980-х гг., а температуры воды, наоборот, – до середины 1980-х гг. Скорость изменения температуры воздуха составляет: за 1964–1983 гг. – $+0,04^{\circ}\text{C}/10$ лет, за 1984–2018 гг. – $+0,55^{\circ}\text{C}/10$ лет. А скорость из-

менения температуры воды соответственно составляет $+0,36^{\circ}\text{C}/10$ лет и $+0,25^{\circ}\text{C}/10$ лет. Исключение составляет р. Дзорагет – п. Степанаван и р. Марцигет – п. Туманян, где рост температуры воды усиливается после 1984 г. При этом скорость изменений температуры воды и воздуха на разных метеостанциях и гидропостах бассейна Дебеда различна.

Полученные результаты можно использовать для решения ряда прикладных задач, связанных с определением таких важных составляющих теплового баланса, как испарение, теплообмен водной поверхности с атмосферой, теплообмен в водной массе, водоснабжения и др., для оценки антропогенного воздействия на водный объект.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке гранта КН РА 20RF-039 (Комитет науки Республики Армения) и РФФИ № 20-55-05006/20 в рамках совместной научной программы «Краткосрочный вероятностный прогноз стока рек в период весеннего половодья», а также в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Кузьмина Е.О., Базелюк А.А.* Термический режим рек на юге европейской территории России // Известия РАН. Сер. географическая. 2014. № 5. С. 56–66.
- Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Никольский Н.В.* Внутригодовая изменчивость поля температуры в Арктическом бассейне // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 2. С. 100–109.
- Василенко А.Н., Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л.* Закономерности изменений среднегодовой температуры воды рек Арктической зоны России в связи с изменениями климата // Водное хозяйство России. 2020. № 2. С. 8–22. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-2-1.
- Гидрография Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1981. 177 с. (На армян. яз.)
- Григорян А.Т.* Ледово-термический режим рек Республики Армения (Географические факторы формирования): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ереван, 1999. 22 с. (На армян. яз.)
- Дмитриева В.А., Бучик С.В.* Термический режим речных вод как ответная реакция на климатические процессы в бассейне верхнего Дона // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 1(86). С. 127–134.
- Дудник С.Н., Буковский М.Е., Можаров А.В., Колкова К.С., Чернова М.А., Суровикина И.В.* Динамика гидротермического режима в реках Донского бассейна на территории Тамбовской области // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19. Вып. 5. С. 1404–1409.
- Иванов В.В., Архипкин В.С., Лемешко Е.М., Мысленков С.А., Смирнов А.В., Суркова Г.В., Тузов Ф.К., Чечин Д.Г., Шестакова А.А.* Изменение гидрологических условий в Баренцевом море как индикатор климатических трендов в евразийской Арктике в XXI веке // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 1. С. 13–25.
- Кузьмина Е.О.* Особенности термического режима рек на юге европейской территории России // Вестн. ВГУ. Сер.: География. Геоэкология. 2013. № 2. С. 86–92.
- Маргарян В.Г.* Особенности термического режима рек в регионе Агстев – Тавуша // Науч. труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. 2013. Вып. 264. С. 51–64.
- Маргарян В.Г.* Динамика изменения температуры воды рек бассейна Воротан (на территории Республики Армения), как результат антропогенной деятельности // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей: тр. VIII Международной научно-практической конференции. 24–27 ноября 2014 г. Т. 1. М.: РУДН, 2014. С. 469–488.
- 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, НИТУ «МИСиС». 2018. № 4. С. 3–9. DOI: 10.17073/2500-0632-2018-4-3-9.
- Маргарян В.Г.* Ледовый режим рек бассейна Дебед, Армения // Лед и снег. 2021. Т. 61. № 2. С. 248–261.
- Михайлов В.М.* Основные закономерности формирования термического режима рек и водоемов на северо-востоке Азии // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2009. № 4. С. 27–34.
- Методические указания по ведению Государственного водного кадастра. Раздел 1. Вып. 4. Ч. 1: Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 80 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 9: Закавказье и Дагестан. Вып. 1: Западное Закавказье. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 312 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 9. Вып. 2: Бассейн р. Аракса. М.: Гидрометеиздат, 1973. 472 с.
- Самохвалов В.Л., Ухов Н.В.* Температурный режим водотоков разных порядков в бассейне верхней Колымы // Вестн. ВГУ. Сер.: География. Геоэкология. 2018. № 4. С. 48–51.
- Христофоров А.В.* Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1988. 132 с.

- Шешко Н.Н., Кухаревич М.Ф. Многолетняя изменчивость термического режима и тепловой баланс реки Лань // Вестн. Брестского гос. тех. ун-та. 2020. № 2. С. 48–51.
- Arismendi I., Johnson S.I., Dunham J.B., Haggerty R. Descriptors of natural thermal regimes in streams and their responsiveness to change in the Pacific Northwest of North America, *Freshwater Biology*, 2013, no. 58, p. 880–894, DOI:10.1111/fwb.12094.
- Bartholow J.M. Recent water temperature trends in the lower Klamath River, California, *North American Journal of Fisheries Management*, 2005, vol. 25, iss. 1, p. 152–162, DOI: org/10.1577/M04-007.1.
- Caissie D. The thermal regime of rivers: a review, *Freshwater Biology*, 2006, no. 51, p. 1389–1406, DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x.
- Coutant C.C. Perspective on Temperature in the Pacific Northwest's Fresh Water, *Environmental Sciences Division*, 1999, no. 4849, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-1999/44, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 109 p.
- Dymond J.R. Water temperature change caused by abstraction, *Hydraulic Engineering ASCE*, 1984, no. 110(7), p. 987–991.
- Elliott J.M., Hurley M.A. A functional model for maximum growth of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England, *Functional Ecology*, 1997, no. 11, p. 592–603.
- Elliott J.M., Hurley M.A., Maberly S.C. The emergence period of sea trout fry in a Lake District stream correlates with the North Atlantic Oscillation, *Fish Biology*, 2000, no. 56, p. 208–210.
- Ebersole J.L., Liss W.J., Frissell C.A. Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States, *Ecology of Freshwater Fish*, 2001, no. 10, p. 1–10.
- Isaak D.J., Wollrab S., Horan D., Chandler G. Climate change effects on stream and river temperatures across the northwest U.S. from 1980–2009 and implications for salmonid fishes, *Climatic Change*, 2012, no. 113, p. 499–524.
- Jensen A.J. Growth of young migratory brown trout *Salmo trutta* correlated with water temperature in Norwegian rivers, *Animal Ecology*, 1990, no. 59, p. 603–614.
- Kiffney P.M., Bull J.P., Feller M.C. Climatic and hydrologic variability in a coastal watershed of southwestern British Columbia, *Journal of the American Water Resources Association*, 2002, no. 38(5), p. 1437–1451.
- Langan S.J., Johnston L., Donaghy M.J., Youngson A.F., Hay D.W., Soulsby C. Variation in river water temperatures in an upland stream over a 30-year period, *Science of the Total Environment*, 2001, no. 265(1–3), p. 195–207, DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00659-8.
- Marszelewski W., Pius B. Long-term changes in temperature of river waters in the transitional zone of the temperate climate: A case study of Polish rivers, *Hydrological Sciences Journal*, 2016, vol. 61, iss. 8, p. 1430–1442.
- Mellina E., Moor R.D., Hinch S.G., Macdonald J.S., Pearson G. Stream temperature responses to clearcut logging in British Columbia: the moderating influences of groundwater and headwater lakes, *Can. J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2002, no. 59, p. 1886–1900.
- Mohseni O., Stefan H.G., Eaton J.G. Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams, *Climate Change*, 2003, no. 59, p. 389–409.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, no. 37, p. 130–137.
- Sinokrot B.A., Gulliver J.S. In-stream flow impact on river water temperatures, *Journal of Hydraulic Research*, 2000, no. 38, p. 339–349.
- Webb B.W., Nobilis F. Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors, *Hydrological Sciences, Sciences Hydrologiques*, 2007, no. 52(1), p. 74–85, DOI: 10.1623/hysj.52.1.74.

Поступила в редакцию 25.05.2021

После доработки 13.12.2021

Принята к публикации 27.06.2022

WINTER THERMAL REGIME OF RIVERS OF THE DEBED RIVER BASIN (ARMENIA)

V.G. Margaryan¹, N.L. Frolova², E.V. Gaidukova³, A.M. Sedrakyan⁴

¹ Yerevan State University, Faculty of Geography and Geology, Department of Physical Geography and Hydrometeorology, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: vmargaryan@ysu.am

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Head of Department, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: frolova_nl@mail.ru

³ Russian State Hydrometeorological University, Institute of Hydrology and Oceanology, Department of Engineering Hydrology, Associate Professor, Ph.D. in Engineering; e-mail: oderiut@mail.ru

⁴ National Polytechnic University of Armenia (NPUA), Faculty of Applied Mathematics and Physics, Department of Physics, Associate Professor, Ph.D. in Physics and Mathematics; e-mail: asedrakyan@seua.am

Specific features of thermal regime of the rivers of the Debed River basin in the cold season (December – March) are considered, as well as the patterns of their temporal fluctuations. Characteristics of the space-time dynamics of air temperature are also presented in order to assess the response of thermal regime to climate change. Observations on water temperature of the rivers of the Debed River basin at 13 gauging stations and on air temperature at 6 meteorological stations were used as the initial data.

A correlation was obtained between the average values of water temperature and the air temperature for December – March in the basin of the Debed River. It is shown that water temperature in the cold season is almost always higher than the air temperature. The lowest average monthly water temperature on all rivers is observed at the end of January. And it mainly increases downstream the rivers. For the period from 1964 to 2018 the average water temperature in the cold season ranges from 1,1 to 4,4°C.

To calculate water temperatures over the unexplored river sections correlations were obtained between its values for the cold season and the areas of river basins, as well as between the average monthly values of water temperature during the cold period and during other time periods.

During 1984–2018 there is a statistically significant increase in air and water temperatures at currently operating meteorological stations and gauging stations. And for the period 1964–1983, both an increase and a decrease in water and air temperatures were recorded, with a predominant increase.

The results obtained can be used to calculate the heat flow, to consider the thermal regime of unexplored river basins, and to assess the hydroecological safety of the Debed River basin.

Keywords: correlation, linear trend, long-term changes, statistic characteristics, air and water temperature, cold season

Acknowledgements. The work was financially supported by the Scientific Committee of the Republic of Armenia (grant 20RF-039) and the Russian Foundation for Basic Research (project 20-55-05006/20) under the Joint Scientific Program Short-term probability analysis of river flow during spring flood, and the Development Program of the Interdisciplinary research and education school of the Lomonosov Moscow State University Future of the Planet and the Global Environmental Changes.

REFERENCES

- Alekseevsky N.I., Kuzmina E.O., Bazelyuk A.A. Termicheskiy rezhim rek na yuge Evropeyskoy territorii Rossii [Thermal regime of the rivers in the south of European Russia], *Izvestiya RAN, Ser. Geograficheskaya*, 2014, no. 5, p. 56–66. (In Russian)
- Arismendi I., Johnson S.L., Dunham J.B., Haggerty R. Descriptors of natural thermal regimes in streams and their responsiveness to change in the Pacific Northwest of North America, *Freshwater Biology*, 2013, no. 58, p. 880–894, DOI: 10.1111/fwb.12094.
- Artamonov Yu.V., Skripaleva E.A., Nikolskii N.V. Vnutrigodovaya izmenchivost' polya temperatury v Arkticheskom bassejne. [Intra-annual variability of temperature field in the Arctic basin], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 2, p. 100–109. (In Russian)
- Bartholow J.M. Recent water temperature trends in the lower Klamath River, California, *North American Journal of Fisheries Management*, 2005, vol. 25, iss. 1, p. 152–162. DOI: org/10.1577/M04-007.1.
- Caissie D. The thermal regime of rivers: a review, *Freshwater Biology*, 2006, no. 51, p. 1389–1406, DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01597.
- Coutant C.C. Perspective on Temperature in the Pacific Northwest's Fresh Water, *Environmental Sciences Division*, 1999, no. 4849, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-1999/44, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 109 p.
- Dmitrieva V.A., Buchik S.V. Thermal Regime of River Water as a Response to Climatic Processes in the Upper Don Drainage Basin, *Arid Ecosystems*, 2021, vol. 11, no. 1, p. 109–115.
- Dudnik S.N., Bukovsky M.E., Mozharov A.V., Kolkova K.S., Chernov M.A., Surovikina I.V. Dinamika gidrotermicheskogo rezhima v rekakh Donskogo basseyna na territorii Tambovskoy oblasti [Dynamics of hydrothermal regime for the rivers of the Don River basin in the Tambov region], *Vestn. Tambovskogo un-ta, Ser. yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, 2014, vol. 19, no. 5, p. 1404–1409. (In Russian)
- Dymond J.R. Water temperature change caused by abstraction, *Hydraulic Engineering ASCE*, 1984, no. 110(7), p. 987–991.
- Ebersole J.L., Liss W.J., Frissell C.A. Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States, *Ecology of Freshwater Fish*, 2001, no. 10, p. 1–10.
- Elliott J.M., Hurley M.A. A functional model for maximum growth of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England, *Functional Ecology*, 1997, no. 11, p. 592–603.
- Elliott J.M., Hurley M.A., Maberly S.C. The emergence period of sea trout fry in a Lake District stream correlates with the North Atlantic Oscillation, *Fish Biology*, 2000, no. 56, p. 208–210.
- Gidrografiya Armyanskoy SSR* [Hydrography of ASSR], Yerevan, Academy of Sciences of ASSR Publ., 1981, 177 p. (In Armenian)
- Grigoryan A.T. *Ledovo-termicheskiy rezhim rek Respubliki Armeniya* (Geograficheskiye faktory formirovaniya) [Ice-thermal regime of the rivers of the Republic of Armenia (geographical factors of formation)], Ph.D. Thesis in Geography, Yerevan, 1999, 22 p. (In Armenian)
- Isaak D.J., Wollrab S., Horan D., Chandler G. Climate change effects on stream and river temperatures across the northwest U.S. from 1980–2009 and implications for salmonid fishes, *Climatic Change*, 2012, no. 113, p. 499–524.

- Ivanov V.V., Arkhipkin V.S., Lemeshko Y.M., Myslenkov S.A., Smirnov A.V., Surkova G.V., Tuzov F.K., Chechin D.G., Shestakova A.A. *Izmeneniye gidrologicheskikh usloviy v Barentsevom more kak indikator klimaticheskikh trendov v evraziyskoy Arktike v XXI veke* [Changes in hydrometeorological conditions in the Barents Sea as an indicator of climatic trends in the Eurasian Arctic in the 21st century], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2022, no. 1, p. 13–25. (In Russian)
- Jensen A.J. Growth of young migratory brown trout *Salmo trutta* correlated with water temperature in Norwegian rivers, *Animal Ecology*, 1990, no. 59, p. 603–614.
- Khristoforov A.V. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: Uchebnoye posobiye* [Theory of probability and mathematical statistics: Manual], Moscow, Izd-vo MGU, 1988, 132 p.
- Kiffney P.M., Bull J.P., Feller M.C. Climatic and hydrologic variability in a coastal watershed of southwestern British Columbia, *Journal of the American Water Resources Association*, 2002, no. 38(5), p. 1437–1451.
- Kuzmina E.O. Osobennosti termicheskogo rezhima rek na yuge evropeyskoy territorii Rossii [Features of thermal regime of rivers in the south of the European Russia], *Vestn. Voronezhskogo gos. un-ta, Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2013, no. 2, p. 86–92. (In Russian)
- Langan S.J., Johnston L., Donaghy M.J., Youngson A.F., Hay D.W., Soulsby C. Variation in river water temperatures in an upland stream over a 30-year period, *Science of the Total Environment*, 2001, no. 265(1–3), p. 195–207, DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00659-8.
- Margaryan V.G. [Dynamics of water temperature changes in rivers of the Vorotan basin (in the territory of the Republic of Armenia) as a result of anthropogenic activity], *Dinamika i termika rek, vodohranilisch i pribrezhnoj zony morej* [Dynamics and thermals of rivers, reservoirs and the coastal zone of the seas], *Proc. of the international scientific and practical conference*, November 24–27, Moscow, 2014, vol. 1, p. 469–488. (In Russian)
- 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 (case study of the Debed River basin)], *Gornyye nauki i tekhnologii, Mining science and technology* (Russia), 2018, no. 4, p. 3–9. (In Russian)
- Margaryan V.G. Ledovyy rezhim rek basseyna Debed, Armeniya [Ice regime of the rivers of the Debed basin, Armenia], *Led i Sneg*, 2021, vol. 61, no. 2, p. 248–261. (In Russian)
- Margaryan V.G. Osobennosti termicheskogo rezhima rek v regione Agstev – Tavusha [Peculiarities of thermal regime of rivers in the Aghstev-Tavush region], *Nauchnyye trudy Ukrainskogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta*, 2013, iss. 264, p. 51–64. (In Russian)
- Marszelewski W., Pius B. Long-term changes in temperature of river waters in the transitional zone of the temperate climate: A case study of Polish rivers, *Hydrological Sciences Journal*, 2016, vol. 61, iss. 8, p. 1430–1442.
- Mellina E., Moor R.D., Hinch S.G., Macdonald J.S., Pearson G. Stream temperature responses to clearcut logging in British Columbia: the moderating influences of groundwater and headwater lakes, *Can. J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2002, no. 59, p. 1886–1900.
- Metodicheskiye ukazaniya po vedeniyu Gosudarstvennogo vodnogo kadastra* [Guidelines for maintaining the State Water Cadastre], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1981, vol. 1, iss. 4, 80 p. (In Russian)
- Mikhaylov V.M. Osnovnyye zakonmernosti formirovaniya termicheskogo rezhima rek i vodoyemov na severo-vostoche Azii [Main regularities of the thermal regime formation in rivers and water bodies of the Northeastern Asia], *Vestn. Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*, 2009, no 4, p. 27–34. (In Russian)
- Mohseni O., Stefan H.G., Eaton J.G. Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams, *Climate Change*, 2003, no. 59, p. 389–409.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface-Water Resources of the USSR], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969, vol. 9, iss. 1, 312 p. (In Russian)
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface-Water Resources of the USSR], Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1973, vol. 9, iss. 2, 472 p. (In Russian)
- Samokhvalov V.L., Uhov N.V. Temperaturnyy rezhim vodotokov raznykh poryadkov v basseyne verkhney Kolymy [Temperature regime of different-order watercourses in the Upper Kolyma River basin], *Vestn. Voronezhskogo gos. un-ta, Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2018, no. 4, p. 48–51. (In Russian)
- Sheshko N.N., Kukharevich M.F. Mnogoletnyaya izmenchivost' termicheskogo rezhima i teplovoy balans reki Lan' [Long-term variability of thermal regime and thermal balance of the Lan River], *Vestn. Brestskogo gos. tekhnicheskogo un-ta*, 2020, no. 2, p. 48–51. (In Russian)
- Sinokrot B.A., Gulliver J.S. In-stream flow impact on river water temperatures, *Journal of Hydraulic Research*, 2000, no. 38, p. 339–349.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, no. 37, p. 130–137.
- Vasilenko A.N., Magritskiy D.V., Frolova N.L. Zakonomernosti izmeneniy srednegodovoy temperatury vody rek Arkticheskoy zony Rossii v svyazi s izmeneniyami klimata [Patterns of Changes in Average Annual Water Temperatures of the Rivers of the Arctic Zone of Russia Associated with Climate Changes], *Vodnoye khozyaystvo Rossii*, 2020, no. 2, p. 8–22. (In Russian)
- Webb B.W., Nobilis F. Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors, *Hydrological Sciences, Sciences Hydrologiques*, 2007, no. 52(1), p. 74–85, DOI: 10.1623/hysj.52.1.74.

Received 25.05.2021

Revised 13.12.2021

Accepted 27.06.2022