



УДК 504.38(470.55/.58)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.106>

Современные тенденции изменения климата в бассейне реки Урал

Ж. Т. Сивохиц, В. М. Павлейчик*

Институт степи УрО РАН, г. Оренбург, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследования изменений основных параметров климата (температура приземного слоя и атмосферные осадки) в бассейне р. Урал на современном уровне. Актуальность проведенных исследований обусловлена расположением значительной части территории бассейна р. Урал в пределах засушливых и водоемких регионов. Выводы о региональных особенностях изменения климата в исследуемом бассейне сформулированы на основе методов статистического анализа данных. Установлено, что статистически значимые значения коэффициентов линейного тренда иллюстрируют устойчивый рост среднегодовой температуры воздуха в бассейне р. Урал. В годовом выражении статистически значимое увеличение количества атмосферных осадков зафиксировано только в западной части бассейна р. Урал и на сопредельных территориях. В пределах исследуемого бассейна выявлена тенденция к увеличению доли осадков холодного периода для всех секторов водосборной территории, кроме нижнего течения р. Урал. Отмечено, что обнаруженные тенденции трансформации климата в бассейне р. Урал являются отражением глобальных перестроек климата.

Ключевые слова: температурный режим, атмосферные осадки, аномалии, региональные тенденции.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00239.

Для цитирования: Сивохиц Ж. Т., Павлейчик В. М. Современные тенденции изменения климата в бассейне реки Урал // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 41. С. 106–117. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.106>

Original article

Current Climate Change Trends in the Ural River Basin

Zh. T. Sivokhip, V. M. Pavleychik*

Steppe Institute UB RAS, Orenburg, Russian Federation

Abstract. The study focuses on the transformation of main climate parameters (surface layer temperature and precipitation) in the Ural River basin at the current level. The study is relevant due to the location of a greater portion of the Ural River basin area within arid and water-deficient regions. Conclusions about the regional climate change in the studied basin are formulated on the basis of standard methods of statistical data analysis. Statistically significant linear trend coefficients illustrate a steady increase in the average annual air temperature in the Ural River basin. The trend component (R2) varies from 12 % (Kuvandyk) to 25–26 % (Aydyrlyya, Belyaevka) and 36–42 % (Bredy, Uralsk, Orenburg, Atyrau). The largest contribution to the growth of average annual temperatures is made by the first

three months of the calendar year (January-March) and the autumn months (October-November). The long-term precipitation amounts show no directional and statistically significant trends. In annual terms, a statistically significant increase in precipitation was found only in the western part of the Ural River basin (MS Ilek – 10 mm per 10 years; Sharlyk – 13 mm per 10 years) and in adjacent areas (MS Buzuluk – 18 mm per 10 years). The key macro-regional trend in changing the precipitation regime is an increase in the proportion of the cold period precipitation. Within the studied basin, a steady trend of seasonal precipitation redistribution was recorded for all sectors of the catchment area, except for the lower reaches of the Ural River. In conclusion, the identified trends in the regional climate transformation indicate that these changes reflect changes in climatic conditions on a larger scale.

Keywords: temperature regime, precipitation, anomalies, regional trends.

For citation: Sivokhip Zh.T., Pavlychik V.M. Current Climate Change Trends in the Ural River Basin. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2022, vol. 41, pp. 106-117. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.106> (in Russian)

Введение

Глобальные трансформация климата являются неоспоримым фактом, а многие наблюдаемые с 1950-х гг. изменения оказываются беспрецедентными в масштабах от десятилетий до тысячелетий [Summary for Policymakers, 2022; Increased occurrence of ... , 2022]. Каждое из трех последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием начиная с 1850 г. Наиболее интенсивное потепление в глобальном масштабе прослеживается в течение последних 30–40 лет. В пределах территории России рост составил более 0,45 °C/10 лет [Dzamalov, Safronova, Telegina, 2017], а к середине XXI в. ежегодный прирост может достичь от 0,7 до 2,6 °C в зависимости от времени года и региона [Возможные антропогенные изменения ... , 2004].

Глобальные перестройки климата обуславливают изменение компонентов гидрологического цикла, и в первую очередь увеличение влагоемкости атмосферы и интенсивности осадков [Huntington, 2006]. Гидрологический отклик на глобальные изменения климата неоднороден и особенно важен для засушливых и вододефицитных регионов, характеризующихся многолетней и внутригодовой вариативностью параметров речного стока. Отметим, что для успешного решения задач по гарантированному обеспечению водными ресурсами наиболее благоприятным является относительно равномерное внутригодовое распределение стока [Kunkel, Pielke, Changon, 1999; Water depletion: an ..., 2016].

Для рек бассейна р. Урал основным типом питания является снеговое, причем роль данного источника в формировании стока не совпадает с календарными сроками вследствие особенностей накопления воды в пределах речного бассейна и его расходования. Соответственно, сезонное изменение элементов водного баланса, аккумуляция и расходование запасов влаги преимущественно определяются климатическими условиями в пределах водосборных территорий [Закономерности гидрологических процессов, 2012].

Общеизвестно, что главной приходной составляющей речного стока являются атмосферные осадки, в связи с чем значительные колебания их количества могут рассматриваться в качестве основного фактора развития многоводных или маловодных лет [How will climate ... , 2013; Roderick, Farquhar,

2011]. В отличие от атмосферных осадков температурный режим относится к косвенным факторам формирования речного стока, и, соответственно, при оценке изменений данных параметров они должны рассматриваться независимо друг от друга [Долгов, Коронкевич, 2012]. Важно отметить, что для степных водосборных территорий р. Урал рост температуры и дефицита влажности воздуха играет существенное значение в теплый период, способствуя в первую очередь уменьшению речного стока и увеличению компенсационных потерь подземных вод.

С учетом вышесказанного целью данного исследования является выявление региональных тенденций изменения условий атмосферного увлажнения и режима температуры приземного слоя воздуха в пределах водосборной территории р. Урал.

Объекты и методы исследования

В качестве исходных данных приняты ряды метеонаблюдений за 70-летний период (1950–2020 гг.) по 14 метеостанциям (МС), расположенным в бассейне р. Урал и на прилегающих территориях, находящихся в пределах таких крупных географических регионов, как Общий Сырт, Предуралье, Южный Урал, Зауралье. В качестве анализируемых параметров приняты данные о температуре приземного слоя воздуха и количестве атмосферных осадков.

Выводы о региональных особенностях и тенденциях изменения климата в исследуемом бассейне сформулированы на основе методов статистического анализа данных. Рассчитаны коэффициенты линейного тренда, оценена их статистическая значимость через коэффициент детерминации (R^2) посредством StatSoft Statistica с учетом двух уровней достоверности – $p < 0,01$ (1 %) и $p < 0,05$ (5 %). Выявлено, что тенденции изменения среднегодовой температуры приземного слоя воздуха статистически значимы: трендовая составляющая (R^2) изменяется от 12 (Кувандык) до 25–26 (Айдырля, Беляевка) и 36–42 % (Бреды, Уральск, Оренбург, Атырау). Многолетний ход значений количества атмосферных осадков характеризуется отсутствием однонаправленных и статистически значимых трендов.

Проведен расчет аномалий (отклонений от нормы) по рассматриваемым метеопараметрам для МС Оренбург, Кувандык, Уральск и Атырау. В качестве базового принят 30-летний период 1961–1990 гг., согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО). Анализ повторяемости абсолютных максимумов и минимумов температуры приземного слоя воздуха позволил установить тенденции изменения экстремальных значений для МС Оренбург в течение двух периодов одинаковой продолжительности (1947–1976 и 1977–2006 гг.) по отношению к базовому периоду (1961–1990 гг.).

Мы также исходим из опыта и результатов исследований, направленных на изучение пространственно-временной неоднородности речного стока в бассейне р. Урал, содержащих анализ многолетних изменений [Sivokhip, Pavleychik, Chibilev, 2019].

Результаты и обсуждение

Изменение температуры приземного слоя воздуха. Современное потепление началось в исследуемом бассейне с середины 1970-х гг. Территория бассейна р. Урал по интенсивности роста среднегодовых температур относится к единой с европейской частью России зоне, для которой характерны значения $0,4\text{--}0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. Согласно мультимодельным оценкам ожидается, что по сравнению с базовым периодом (1980–2000 гг.) к 2030 г. годовая температура в бассейне р. Урал возрастет на $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Возможные антропогенные изменения ... , 2004]. Устойчивый рост приземной температуры в пределах исследуемой территории подтверждают сценарные прогнозы, полученные на основе расчета данных ансамбля глобальных климатических моделей CMIP5 [Сценарные прогнозы ... , 2022]. Ожидаемое потепление климата в исследуемом бассейне обусловлено ростом температур во все сезоны года, но наиболее существенное увеличение значений прогнозируется для зимы и весны, что в целом согласуется с общими региональными тенденциями для территории Европейской России. К периоду 2080–2099 гг. в пределах бассейна р. Урал ожидается прирост годовых значений температуры воздуха от $+3,6$ (сценарий RCP 4.5) до $+6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (сценарий RCP 8.5) с максимумами в зимний период $+4,3$ и $+7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно.

Региональные тенденции изменения приземной температуры воздуха подтверждаются статистически значимыми коэффициентами линейного тренда (рис. 1). Для подавляющего большинства МС среднегодовые значения коэффициентов линейного тренда находятся в диапазоне $0,30\text{--}0,38\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. Исключение составляет МС Кувандык ($0,15$), занимающая специфическое котловинное положение, и три МС в различных частях бассейна (Шарлык, Беляевка и Актобе) с несколько меньшими значениями – $0,27\text{--}0,29\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. Наибольший прирост температур отмечен в нижнем секторе бассейна (МС Илек, Уральск, Атырау), а также в Зауралье (МС Бреды) – $0,33\text{--}0,34\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Наибольший вклад в рост среднегодовых температур вносят первые три месяца календарного года (январь – март) и осенние месяцы (октябрь – ноябрь), причем наиболее значимый и практически повсеместный прирост температур наблюдается в марте (в среднем $0,70\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет). Полученные данные свидетельствуют о неоднородности трансформации температурного режима, обусловленной как широтно-зональными, так и физико-географическими условиями водосборной территории исследуемого бассейна.

Рост значений приземной температуры в бассейне р. Урал подтверждают результаты оценки аномалий среднегодовой температуры воздуха по отношению к нормированным значениям (рис. 2). В пределах исследуемой территории максимальный прирост аномалий среднегодовой температуры отмечается в среднем и нижнем течении р. Урал – от $0,49$ на МС Оренбург и Уральск до $0,57\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет на МС Атырау. Более устойчивый многолетний ход рассматриваемых значений характерен для низкогорных ландшафтов верхнего сегмента бассейна (МС Кувандык – $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет).

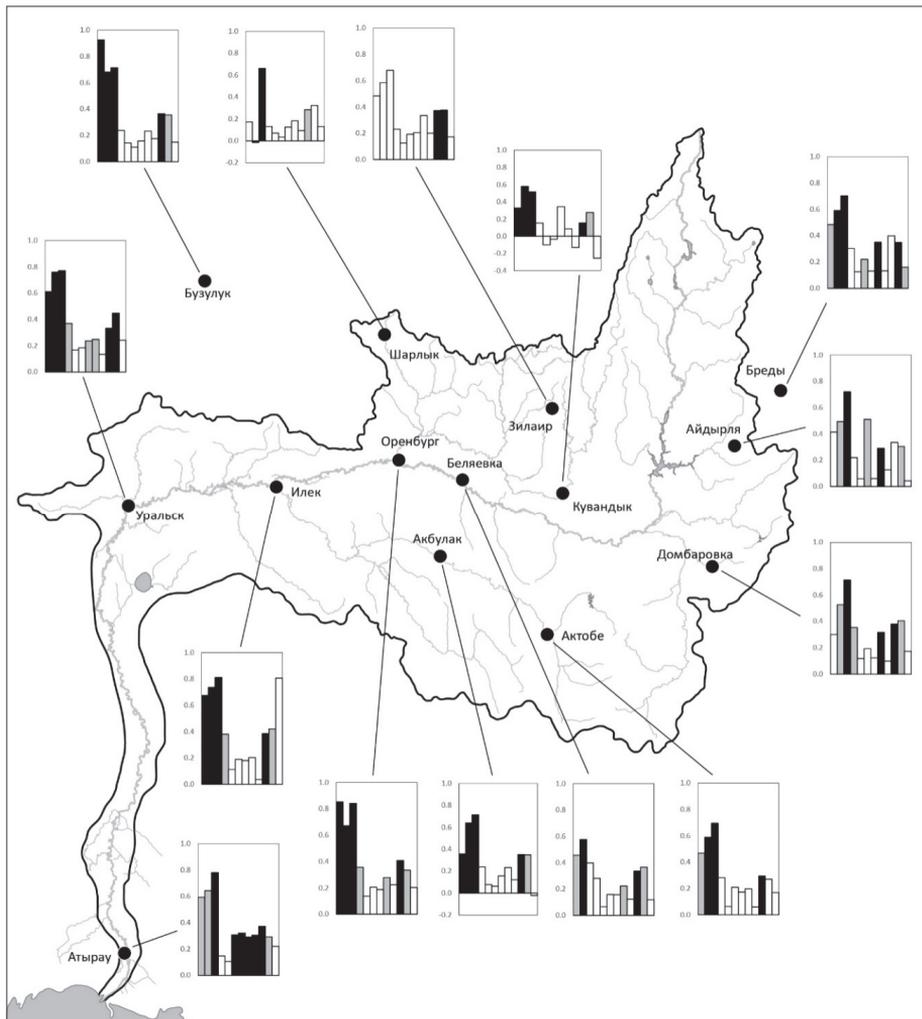


Рис. 1. Диаграммы среднемесячных значений коэффициентов линейного тренда сезонных температур за период 1950–2020 гг. Черные столбцы – 1 %, серые – 5 % уровня достоверности; белые – не имеющие статистической достоверности

Период 1976–2020 гг. характеризуется преобладанием положительных аномалий температуры для всех сезонов. Помимо зимнего периода, устойчивое нарастание температурных аномалий наблюдается и в летние месяцы, что обусловлено ослаблением западного переноса воздушных масс. Прослеживается увеличение значений температурных аномалий в меридиональном направлении от $+0,25$ (МС Оренбург) до $+0,53$ °С (МС Уральск), максимальный прирост значений по линейному тренду отмечается в нижнем течении бассейна р. Урал – $0,63$ °С/10 лет (МС Атырау). Также необходимо добавить, что анализ экстремальных значений температуры приземного слоя воздуха в пределах бассейна р. Урал свидетельствует о росте числа экстремально жарких дней, что соответствует тенденциям, характерным для юга Европейской

России и Южного Урала [Оценки экстремальности температурного ... , 2018]. Обращает на себя внимание текущая тенденция увеличения повторяемости абсолютных максимумов (выше 38 °С) на примере МС Оренбург. Так, в современный (30-летний) период повторяемость экстремально высоких температур выше 38 °С возросла с 10 до 20 %.

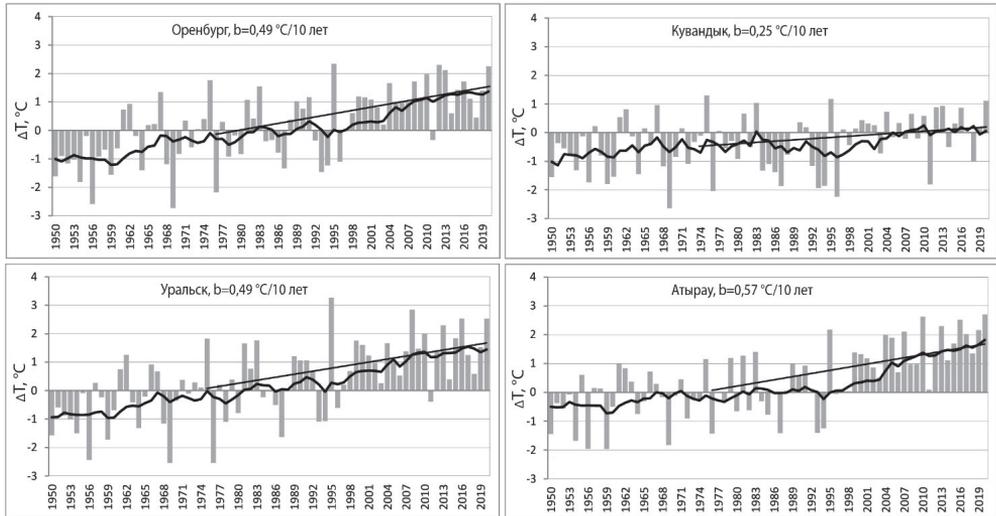


Рис. 2. Среднегодовые аномалии температуры приземного слоя воздуха (1950–2020 гг.).
График 11-летних скользящих значений; линейный тренд за 1976–2020 гг.;
 b – коэффициент тренда (°C/10 лет)

Отметим, что для накопления водных ресурсов в предполоводный период, а также для пополнения запасов подземных вод, питающих реку в летнюю межень, важен зимний период. Фиксируемый рост зимних температур сопровождается увеличением частоты случаев перехода через 0 °С, что приводит к нарастанию продолжительности и интенсивности оттепелей (табл. 1).

Таблица 1

Основные показатели наступления оттепелей

Метеостанция	Среднегодовая сумма положительных температур воздуха, °С				Среднегодовая продолжительность дней с положительными среднесуточными температурами, сут			
	1916–1930	1931–1960	1961–1990	1991–2019	1916–1930	1931–1960	1961–1990	1991–2019
Зилаир	–	5,12	6,11	6,62	–	3,16	3,30	3,07
Бреды	–	2,45	5,19	7,46	–	2,64	4,03	5,34
Оренбург	4,38	8,15	12,30	16,01	4,69	7,04	9,33	13,17
Актобе	–	7,54	11,88	14,95	–	6,52	8,50	10,29
Акбулак	–	–	13,33	16,71	–	–	9,63	12,48
Домбаровка	–	–	6,18	8,33	–	–	4,88	6,34

Полученные данные свидетельствуют о значительном и синхронном росте суммы положительных температур воздуха и продолжительности дней с температурой выше 0 °С в пределах территории бассейна р. Урал. Максимальное число суток с температурой выше 0 °С фиксируется в 1991–2019 гг., преимущественно в декабре и феврале. Следствием данной трансформации является внутригодовое перераспределение долей сезонного стока с тенденцией к увеличению доли зимнего стока [Сивохиц, Павлейчик, Падалко, 2021].

Изменение режима атмосферных осадков. Пространственно-временная специфика годовых и сезонных сумм атмосферных осадков играет ключевую роль в формировании и распределении стока рек. Выявлено, что для исследуемого бассейна характерно крайне неравномерное распределение атмосферного увлажнения (табл. 2).

Таблица 2

Показатели изменчивости годовой суммы атмосферных осадков в бассейне р. Урал и сопредельных территориях

Метеостанция	Средние многолетние, мм			Экстремумы, мм		Показатели изменчивости, мм		
	1940–1960	1961–1990	1990–2020	максимум	минимум	σ , мм	C_v , %	A , мм
Бузулук	313,4	397,4	438,5	632,0 (1990)	204,0 (1951)	105,2	27,1	428,0
Илек	336,6	363,6	393,4	582,0 (1945)	157,2 (1955)	91,3	25,0	424,8
Оренбург	327,5	368,1	360,1	731,0 (1945)	153,5 (1955)	97,2	27,4	577,5
Акбулак	274,8	339,2	337,4	498,5 (1973)	171,0 (1943)	83,1	25,9	327,5
Беляевка	313,4	338,9	321,5	601 (1945)	182,8 (1972)	86,6	26,6	418,2
Кувандык	449,9	482,9	476,8	782,3 (1990)	244,0 (1949)	122,6	26,0	538,3
Айдырля	232,9	294,6	318,8	479,9 (1990)	149,0 (1948)	92,6	33,5	330,9

Минимальное количество атмосферных осадков получают южные и восточные участки исследуемого бассейна (менее 350 мм), в пределах большей части – 350–450 мм, максимумы приходятся на горно-лесную часть бассейна (более 450 мм). Амплитуды многолетнего хода осадков в центральной части бассейна превышают 500 мм (МС Оренбург – 577,5, МС Кувандык – 538 мм), тогда как в южной и юго-восточной частях годовая амплитуда менее значима – от 327,5 на МС Акбулак до 424,8 мм на МС Илек; значения стандартного отклонения не превышают 93 мм.

Максимальное количество атмосферных осадков наблюдается в июле (на низкогорной МС Кувандык еще и в октябре с максимумом 122 мм), минимальное – в феврале – марте. Многолетняя изменчивость годовых сумм атмосферных осадков (C_v) в бассейне р. Урал составляет в среднем 20–22 %, достигая наибольших значений в южных степных районах (МС Илек – 25, Акбулак – 26, Оренбург – 27,4 %).

В отличие от устойчивой тенденции роста температуры приземного слоя воздуха, для многолетней динамики атмосферных осадков характерно отсутствие отчетливо выраженных тенденций. В годовом выражении отмечается статистически значимое увеличение годового количества атмосферных осадков только в западной части бассейна р. Урал (МС Илек – 10; Шарлык – 13 мм/10 лет) и на сопредельных территориях (МС Бузулук – 18 мм/10 лет). Выявлены статистически значимые положительные тенденции для зимнего и весеннего сезонов в нижнем течении р. Урал, фиксируемые и другими авторами [Оценка годового стока..., 2020]. Для остальной территории не выявлено статистически значимых изменений в условиях атмосферного увлажнения. Значения коэффициентов линейного тренда также подтверждают отсутствие устойчивых региональных тенденций в многолетнем режиме атмосферных осадков в исследуемом бассейне. Положительные значения отмечены в городах Оренбурге (14,3 мм/10 лет) и Атырау (12,4), а в городах Кувандыке (–23) и Уральске (–4,6) линейный тренд имеет отрицательный знак (рис. 3).

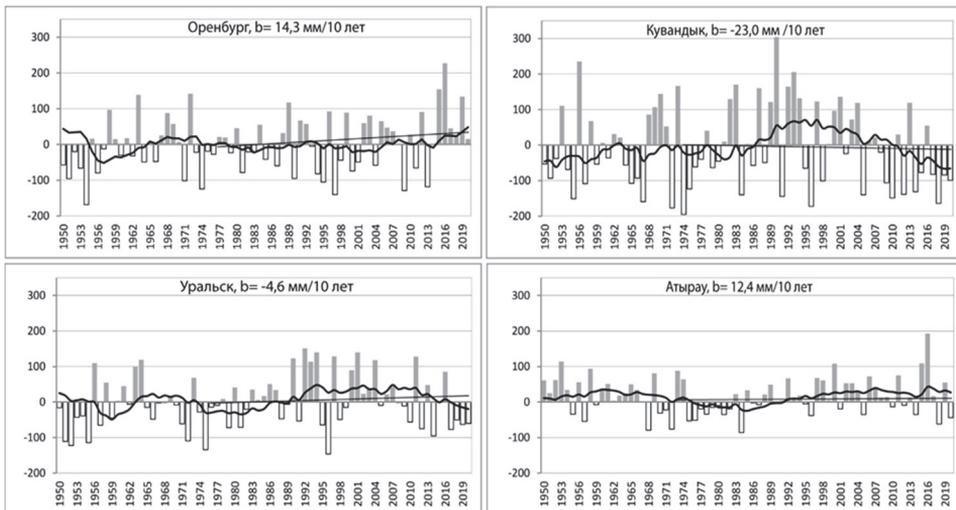


Рис. 3. Аномалии годовой суммы атмосферных осадков (1950–2020 гг.).
График 11-летних скользящих значений; линейный тренд за 1976–2020 гг.;
 b – коэффициент тренда (мм/10 лет)

Пространственную и многолетнюю несогласованность тенденций подтверждают результаты расчета аномалий годовых сумм атмосферных осадков. В частности, положительные отклонения аномалий за 1976–2020 гг. установлены для МС Уральск и Атырау – 11,4 и 14,6 мм от нормы (1961–1990 гг.), тогда как в центральной части бассейна отклонения от нормы менее значительны – 7,8 мм на МС Оренбург и 1,46 на МС Кувандык. Отсутствие значимых трендов в годовом и сезонном увлажнении степных регионов Европейской России объясняется взаимной компенсацией разнонаправленных изменений увлажнения в разные сезоны [Золотокрылин, Черенкова, Титкова, 2020].

Одной из устойчивых тенденций, общей для значительной части территории Европейской России, является увеличение доли осадков холодного периода, обусловленное устойчивым ростом температур зимнего сезона. В пределах исследуемого бассейна устойчивая тенденция сезонного перераспределения атмосферных осадков установлена для всех секторов водосборной территории, кроме нижнего (МС Атырау) (табл. 3).

Таблица 3

Изменение доли осадков холодного и теплого периодов в бассейне р. Урал

Метеостанция	1940–1960		1961–1990		1991–2020	
	XI–III	IV–X	XI–III	IV–X	XI–III	IV–X
Оренбург	30,1	69,8	37,0	63,0	40,1	59,9
Кувандык	37,6	62,4	39,5	60,5	44,8	55,2
Зилаир	32,9	67,1	37,2	62,8	42,2	57,8
Акбулак	24,7	75,3	35,4	64,6	37,8	62,2
Айдырля	–	–	27,1	72,9	29,9	70,1
Домбаровка	–	–	34,6	65,4	38,6	61,4
Уральск	33,4	66,6	40,2	59,8	38,1	61,9
Атырау	41,3	58,7	41,1	58,9	41,8	58,2

Максимальное увеличение доли осадков холодного периода зафиксировано для среднего течения р. Урал (МС Оренбург +10, Акбулак +13 %) и для горно-лесных водосборных территорий (МС Кувандык +7, Зилаир +10 %). Отметим, что за последние 30 лет норма атмосферных осадков холодного периода (ноябрь – март) на МС Кувандык была превышена в 20, на МС Оренбург – в 17, на МС Уральск – в 13 раз со средним значением положительной аномалии 49, 31 и 29 мм соответственно. Менее значимый рост наблюдается в юго-восточных районах исследуемого бассейна. Также отметим, что осадки теплого периода хотя и не играют столь значимой роли (как зимние) в питании рек степной зоны, тем не менее существенное сокращение их количества отразится на водности рек, в первую очередь в летне-осеннюю межень.

Степные районы водосборной территории р. Урал характеризуются относительно быстрым установлением устойчивых отрицательных температур, поэтому условия увлажнения предзимнего периода имеют ключевое значение для водности рек казахстанского типа (с весенним половодьем). В частности, стаивание временного снежного покрова при невысоких положительных значениях температуры воздуха и слабом испарении способствует увеличению запасов влаги в почвенном покрове [Галахов, 1960]. В исследуемом бассейне последние 30 лет (1991–2020 гг.) характеризуются ухудшением условий естественного увлажнения предзимнего периода, о чем свидетельствует повсеместное преобладание отрицательных значений нормированных аномалий атмосферных осадков ноября. Максимальные отклонения выявлены для горно-лесных районов (МС Кувандык – 24,6, Зилаир – 27,5 мм), минимальное – для нижнего течения (МС Атырау – 8 мм). Сокращение атмосферных осадков в предзимний период проходит на фоне устойчивого и статистически значимого роста температур приземного слоя.

Выводы

Анализ основных метеорологических показателей регионального климата свидетельствует о том, что наблюдаемые изменения являются отражением трансформаций более крупного масштаба. Многие устойчивые внутригодовые изменения согласуются с тенденциями, характерными как минимум для европейской части России, и отчетливо проявляются на речном стоке [Долгов, Коронкевич, 2012; Сивохип, Павлейчик, Падалко, 2021]. Разнообразии широтно-зональных и физико-географических условий формирования регионального климата определяет пространственную неоднородность в отклике на глобальные и макрорегиональные изменения. Наиболее устойчивым к современным трансформациям является климат низкогорий Южного Урала, в пределах которых расположена крупная область формирования речного стока исследуемого бассейна. Анализ пространственно-временных изменений температурного режима и естественного увлажнения в бассейне р. Урал актуален в аспекте обеспечения устойчивой эколого-гидрологической обстановки, решения проблем гарантированного обеспечения водными ресурсами и необходимости принятия мер по адаптации всех видов водопользования к изменяющимся условиям.

Список литературы

- Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей / В. П. Мелешко, Г. С. Голицын, В. А. Говоркова, П. Ф. Демченко, А. В. Елисеев, В. М. Катцов, С. П. Малевский-Малевич, И. И. Мохов, Е. Д. Надежина, В. А. Семенов, П. В. Спорышев, В. Ч. Хон // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 38–49.
- Галахов Н. Н. Снежный покров в зимы, предшествующие засушливым и влажным периодам // Гидроклиматический режим лесостепной и степной зон СССР в засушливые и влажные годы. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. С.54–64.
- Долгов С. В., Коронкевич Н. И. Особенности реакции рек Русской равнины на изменение температуры воздуха // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 6. С. 55–62.
- Закономерности гидрологических процессов / под ред. Н. А. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2012. 736 с.
- Золотокрылин А. Н., Черенкова Е. А., Туткова Т. Б. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами // Известия РАН. Серия географическая. 2020. № 2. С. 207–217. <https://doi.org/10.31857/S258755662002017X>
- Оценка годового стока реки Жайык (Урал) в створе с. Кушум на перспективу до 2050 г. с учетом изменения климата / Н. И. Ивкина, А. В. Галаева, С. Б. Саиров, С. А. Долгих, Е. Ю. Смирнова // Гидрометеорология и экология. 2020. № 3. С.52-69.
- Оценки экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и ее регионов / Н. Н. Коршунова, О. Н. Булыгина, В. Н. Разуваев, С. Г. Давлетшин // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 20–30.
- Сивохип Ж. Т., Павлейчик В. М., Падалко Ю. А. Изменение минимального стока в бассейне реки Урал // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85, № 6. С. 900–913. <https://doi.org/10.31857/S2587556621060133>
- Сценарные прогнозы на основе глобальных моделей CMIP5. Климатический центр Росгидромета. URL: <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/izmenenie-klimata-rossii-v-21-veke> (дата обращения: 27.06.2022)
- Dzhamalov R. G., Safronova T. I., Telegina E. A. Annual distribution of river runoff with estimated contribution of winter low-water season // Water Resources. 2017. Vol. 44, N 6. P. 785–792. <https://doi.org/10.1134/S0097807817060045>
- How will climate change modify river flow regimes in Europe? / C. Schneider, C. L. R. Laize, C. Acreman, M. Florke // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2013. Vol. 17, N 1. P. 325–339. <https://doi.org/10.5194/hess-17-325-2013>

Huntington T. G. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis // *J. Hydrol.* 2006. Vol. 319. P. 83–95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003>

Increased occurrence of high impact compound events under climate change / N. N. Ridder, A. M. Ukkola, A. J. Pitman, S. E. Perkins-Kirpatrick // *Climate and Atmospheric Science.* 2022. Vol. 5. <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00224-4>

Kunkel K. E., Pielke R. A., Changon S. A. Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: a review // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1999. P. 1077–1098. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<1077:TFIWAC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<1077:TFIWAC>2.0.CO;2)

Roderick M. L., Farquhar G. D. A simple framework for relating variations in runoff to variations in climatic conditions and catchment properties // *Water Resour. Res.* 2011. N 47. P. 1–11. <https://doi.org/10.1029/2010WR009826>

Sivokhip Z. T., Pavleychik V. M., Chibilev A. A. Change in the river water regime of the Ural River basin // *Doklady Earth Sciences.* 2019. Vol. 488, N 2. P. 1217–1221. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19100192>

Summary for Policymakers / H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (ed.) // *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2022. P. 3–33. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>.

Water depletion: an improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments / K. A. Brauman, B. D. Richter, S. Postel, M. Malsy, M. Florke // *Elem. Sci. Anth.* 2016. N 4. P. 000083. <http://dx.doi.org/10.12952/journal.elementa.000083>.

References

Meleshko V.P., Golitsyn G.S., Govorkova V.A., Demchenko P.F., Eliseev A.V., Kattsov V.M., Malevsky-Malevich S.P., Mokhov I.L., Nadezhina E.D., Semenov V.A., Sporyshev P.V., Khon V.Ch. Vozmozhnyye antropogennyye izmeneniya klimata Rossii v 21 veke: otsenki po ansamblyu klimaticheskikh modeley [Possible anthropogenic climate changes in Russia in the 21st century: estimates from an ensemble of climate models]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2004, no. 4, pp. 38-49 (in Russian)

Galakhov N.N. Snezhnyy pokrov v zimy, predshestvuyushchiye zasushlivym i vlazhnym periodam [Snow cover in winters preceding dry and wet periods]. *Gidroklimaticheskiy rezhim lesostepnoy i stepnoy zon SSSR v zasushlivyye i vlazhnyye gody* [Hydroclimatic regime of the forest-steppe and steppe zones of the USSR in dry and wet years]. Moscow: Academy of Sciences of the USSR Publ., 1960, pp. 54–64 (in Russian)

Dolgov S.V., Koronkevich N.I. Osobennosti reaktsii rek Russkoy ravniny na izmeneniye temperatury vozdukh [Peculiarities of the response of the rivers of the Russian Plain to changes in air temperature]. *Izvestiya RAS. Seriya Geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series Geographic], 2012, no. 6, pp. 55-62 (in Russian).

Zakonomernosti gidrologicheskikh protsessov [Patterns of Hydrological Processes]. Ed. by N.A. Alekseevsky. Moscow, GEOS Publ., 2012, 736 p. (in Russian)

Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B. Aridizatsiya zasushlivykh zemel' Yevropeyskoy chasti Rossii i svyaz' s zasukhami [Aridization of arid lands in the European part of Russia and connection with droughts]. *Izvestiya RAS. Seriya Geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series Geographic], 2020, no. 2, pp. 207-217. <https://doi.org/10.31857/S258755662002017X> (in Russian)

Ivkina N.I., Galaeva A.V., Sairov S.B., Dolgikh S.A., Smirnova E.Yu. Otsenka godovogo stoka reki Zhay-yk (Ural) v stvore s. Kushum na perspektivu do 2050 g. s uchetom izmeneniya klimata [Assessment of the annual runoff of the Zhaiyk (Ural) River at the site with. Kushum for the future until 2050, taking into account climate change]. *Gidrometeorologiya i ekologiya* [Hydrometeorology and Ecology], 2020, no. 3, pp. 52-69 (in Russian)

Korshunova N.N., Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Davletshin S.G. Otsenki ekstremal'nosti temperaturnogo rezhima i rezhima osadkov dlya territorii RF i yeye regionov [Estimates of the extremeness of the temperature regime and precipitation regime for the territory of the Russian Federation and its regions]. *Trudy Vseros. nauch.-issl. inst. gidromet. inf. – Mir. tsentr dannykh* [Proceedings of All-Russ. Res. Inst. of Hydromet. Inf. – World Data Center], 2018, iss. 183, pp. 20-30. (in Russian)

Sivokhip Zh.T., Pavleichik V.M., Chibilev A.A. Izmeneniye minimal'nogo stoka v bassejne reki Ural [Changes in the water regime of the rivers of the Ural river basin]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic series], 2019, vol. 488, no. 5, pp. 103-107. <https://doi.org/10.31857/S2587556621060133> (in Russian)

Stsenarnyye prognozy na osnove globalnykh modeley CMIP5 [Scenario forecasts based on global CMIP5 models]. Climate Center of Roshydromet. Available at: <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/izmenenie-klimata-rossii-v-21-veke> (date of access: 27.06.2022). (in Russian)

Dzhamalov R.G., Safronova T.I., Telegina E.A. Annual distribution of river runoff with estimated contribution of winter low-water season. *Water Res.*, 2017, vol. 44, iss. 6, pp. 785–792. <https://doi.org/10.1134/S0097807817060045>

Schneider C., Laize C.L.R., Acreman C., Florke M. How will climate change modify river flow regimes in Europe? *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2013, vol. 17, no. 1, pp. 325-339. <https://doi.org/10.5194/hess-17-325-2013>.

Huntington T.G. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *J. Hydrol.*, 2006, vol. 319, pp. 83-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003>

Ridder N.N., Ukkola A.M., Pitman A.J., Perkins-Kirpatrick S.E. Increased occurrence of high impact compound events under climate change. *Climate and Atmospheric Science*, 2022, vol. 5. <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00224-4>

Kunkel K.E., Pielke R.A., Chanson S.A. Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: a review. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 1999, pp. 1077-1098. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<1077:TFIWAC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<1077:TFIWAC>2.0.CO;2)

Roderick M.L., Farquhar G.D. A simple framework for relating variations in runoff to variations in climatic conditions and catchment properties. *Water Resour. Res.*, 2011, no. 47, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1029/2010WR009826>.

Sivokhip Z.T., Pavleychik V.M., Chibilev A.A. Change in the river water regime of the Ural River basin. *Doklady Earth Sciences*, 2019, iss. 488, no. 2, pp. 1217-1221. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19100192>.

Pörtner H.-O., Roberts D.C., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., Tignor M., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Löschke S., Möller V., Okem A. (ed.). Summary for Policymakers. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2022. pp. 3-33. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>.

Brauman K.A., Richter B.D., Postel S., Malsy M., Florke M. Water depletion: an improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments. *Elem. Sci. Anth.*, 2016, no. 4, pp. 000083. <http://dx.doi.org/10.12952/journal.elementa.000083>

Сведения об авторах

Сивохип Жанна Тарасовна

кандидат географических наук,
ведущий научный сотрудник
Институт степи УрО РАН
Россия, 460000, г. Оренбург,
ул. Пионерская, 11
e-mail: sivohip@mail.ru

Павлейчик Владимир Михайлович

кандидат географических наук,
ведущий научный сотрудник
Институт степи УрО РАН
Россия, 460000, г. Оренбург,
ул. Пионерская, 11
e-mail: vmravleychik@gmail.ru

Information about the authors

Sivokhip Zhanna Tarasovna

Candidate of Sciences (Geography),
Leading Research Scientist
Institute of Steppe UB RAS
11, Pionerskaya st, Orenburg, 460000,
Russian Federation
e-mail: sivohip@mail.ru

Pavleichik Vladimir Mikhailovich

Candidate of Sciences (Geography),
Leading Research Scientist
Institute of Steppe UB RAS
11, Pionerskaya st, Orenburg, 460000,
Russian Federation
e-mail: vmravleychik@gmail.ru

Код научной специальности: 25.00.30

Статья поступила в редакцию **04.07.2022**; одобрена после рецензирования **23.07.2022**; принята к публикации **12.09.2022**
The article was submitted **July, 4, 2022**; approved after reviewing **July, 23, 2022**; accepted for publication **September, 12, 2022**