

УДК 556.51:551.583

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ЗАВОЛЖСКО-УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ В АСПЕКТЕ УСТОЙЧИВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Павлейчик В.М., Сивохип Ж.Т.

Институт степи УрО РАН, Оренбург, e-mail: pavleychik@rambler.ru

В статье проведен анализ особенностей изменения климата в Заволжско-Уральском регионе в аспекте ландшафтно-географической неоднородности и формирования водного режима рек (на примере бассейна р. Урал). Актуальность проведенного исследования определяется расположением территории в зоне рискованного сельскохозяйственного производства ввиду характерной для степных регионов межгодовой изменчивости метеорологических параметров и показателей речного стока. На основе расчета коэффициентов линейных трендов (в разрезе календарных месяцев и сезонов года) по 15 метеостанциям рассмотрена многолетняя (1977–2015) динамика значений температуры и осадков. Выявлено, что наиболее значительный и повсеместный рост температур происходит в безморозные сезоны года, составляя в среднем 0,4–0,5 °C/10 лет. Зимой тенденция нарастания температур не столь отчетлива и однородна в пространстве, в среднем скорость составляет 0,18 °C/10 лет. Значения линейных трендов по осадкам в безморозный период распределены в пространстве значительно более однотипно, чем зимой. Положительные тренды повсеместно наблюдаются лишь весной, а летом и осенью характерно снижение количества осадков. Отмечено, что процессы трансформации как климатических условий, так и параметров речного стока идентичны тенденциям, наблюдающимся на европейской территории России, что свидетельствует об изменениях климатической системы на макрорегиональном уровне. Следствием климатических трансформаций стала тенденция к перераспределению сезонного стока в сторону увеличения доли межлетнего стока (особенно зимнего) и, соответственно, сокращения доли стока в периоды весенних половодий. Наблюдаемые изменения в климате Заволжско-Уральского региона, проявляющиеся как в долговременных тенденциях, в усилении аномальности и внутрисезонных трансформациях свидетельствуют о необходимости корректировки структуры природопользования. В первую очередь актуальна проблема оптимизации водопользования и регулирования стока в условиях водно-дефицитных степных регионов.

Ключевые слова: региональный климат, многолетняя динамика, тренды, аномальность, речной сток

CLIMATE CHANGE TRENDS IN THE ZAVOLZHSCO-URAL REGION IN THE ASPECT OF SUSTAINABLE USE OF WATER RESOURCES

Pavleychik V.M., Sivokhip Zh.T.

*Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg,
e-mail: pavleychik@rambler.ru*

The article analyzes the characteristics of climate change in the Zavolzhsk-Ural region in terms of landscape-geographical heterogeneity and the formation of the water regime of rivers (by the example of the Ural River basin). The relevance of the study is determined by the location of the territory in the zone of risky agricultural production due to the interannual variability of meteorological parameters and river flow indicators characteristic of the steppe regions. Based on the calculation of linear trend coefficients (broken down by calendar months and seasons) for 15 weather stations, long-term (1977–2015) dynamics of temperature and precipitation values was considered. It was revealed that the most significant and widespread increase in temperature occurs in the frost-free seasons of the year, averaging 0.4–0.5 °C/10 years. In winter, the tendency to rise in temperature is not so distinct and uniform in space; on average, the rate is 0.18 °C/10 years. The values of linear trends in precipitation during the frost-free period are distributed in space much more uniformly than in winter. Positive trends are everywhere observed only in the spring, while summer and autumn are characterized by a decrease in precipitation. It was noted that the processes of transformation of both climatic conditions and river runoff parameters are identical to the trends observed in the European territory of Russia, which indicates changes in the climate system at the macro-regional level. The consequence of climatic transformations has become a tendency to redistribute seasonal runoff towards an increase in the proportion of low-water runoff (especially winter) and, accordingly, a decrease in the proportion of runoff during the periods of spring floods. The observed changes in the climate of the Trans-Volga-Ural region manifested both in long-term trends, in the strengthening of anomalies and in intra-annual transformations, indicate the need to adjust the nature management structure. First of all, the problem of optimizing water use and regulating runoff in conditions of water-scarce steppe regions is topical.

Keywords: regional climate, long-term dynamics, trends, anomaly, river flow

Традиционные системы природопользования и водопользования, несмотря на их мнимую устойчивость, в условиях изменяющегося климата могут столкнуться с необходимостью коренной трансформации подходов к использованию водных, земельных и растительных ресурсов. Особо вероятны

подобные риски для аграрных регионов, периодически испытывающих недостаток водных ресурсов и атмосферного увлажнения для устойчивого ведения хозяйства.

В связи с этой потенциальной проблемой нами проведен анализ региональных особенностей изменения климата для заволж-

ско-уральского сектора степей Северной Евразии – крупного географического региона с четким проявлением широтной зональности. Исследуемая территория в течение длительного времени осваивалась преимущественно под сельскохозяйственные нужды, что привело к интенсивной деградации земель (дефляция, эрозия, вторичное засоление и др.). В отдельные периоды регион подвергается негативным последствиям кратковременных погодно-климатических изменений (засухи и песчаные бури), что требует разработки и реализации комплексных мелиоративных мероприятий.

Основная часть территории принадлежит бассейну р. Урал, с главными водотоками которого связано формирование системы расселения и развития крупных промышленных центров – потребителей водных ресурсов. Сочетание недостатка водных ресурсов и крайней неоднородности речного стока привело к необходимости регулирования стока. Для закономерно повторяющихся изменений гидрологического состояния водного объекта (гидрологический режим) ключевое значение имеет водный режим, определяющий ритмику поступления воды с поверхности речного бассейна [1]. В свою очередь, внутригодовая изменчивость водного режима детерминруется сезонными изменениями роли источников питания и спецификой их пространственно-временного сочетания. Так, для рек бассейна р. Урал определяющим 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 [2]. Кроме того, накопление осадков в виде снега определяет главные черты водного режима рек исследуемого бассейна – весеннее половодье и зимняя межень. Соответственно, сезонное изменение элементов водного баланса, аккумуляция и расходование запасов влаги преимущественно определяются климатическими условиями [1].

В соответствии с вышесказанным, цель исследования – выявить особенности изменения климата в Заволжско-Уральском регионе в аспекте ландшафтно-географической неоднородности и формирования водного режима рек (бассейн р. Урал). На данном этапе исследований рассмотрена многолетняя динамика температуры и осадков, на основе которой в дальнейшем будут сделаны выводы о природной составляющей изменчивости стока рек бассейна р. Урал и о рисках природопользования в степных регионах.

Материалы и методы исследования

Для расчета многолетних тенденций в динамике регионального климата были рассчитаны коэффициенты линейных трендов в разрезе календарных месяцев и сезонов года. В качестве исходных приняты ряды данных метеонаблюдений за 39-летний период (1977–2015 гг.) по 15 метеостанциям, расположенным в Заволжско-Уральском регионе, включая бассейн р. Урал (рис. 1). Из них большинство (10 станций, № 1–7 и 13–15) располагаются в пределах Южного Приуралья, результаты по ним характеризуют тенденции изменения климата в аспекте смены широтно-зональных условий, от лесостепи до сухих степей.

По данным метеостанций (Оренбург, Илек, Уральск, Актобе), имеющих более продолжительный период наблюдений (1926–2017), рассчитаны значения аномалий среднегодовых и сезонных метеопараметров. Отдельные аспекты рассматриваемой проблемы потребовали более частных подходов. Так, при выявлении факторов перераспределения внутригодового речного стока, проанализированы показатели, отражающие нарастание значимости зимних оттепелей (суммы зимних положительных среднесуточных температур, продолжительность дней с оттепелями).

Результаты исследования и их обсуждение

Общеизвестно, что температура воздуха, в отличие от осадков, относится к косвенным факторам формирования речного стока и, соответственно, при оценке климатических изменений данные показатели рассматриваются независимо друг от друга [3, 4]. Но вместе с тем при сопоставлении гидрометеорологических данных по отдельным сезонам наблюдается достаточно тесная связь и, прежде всего, в холодный период года [5].

Температурный режим. Согласно выводам Межправительственной группы экспертов по изменению климата [6], потепление климатической системы является неоспоримым фактом, и начиная с 1950-х гг. многие наблюдаемые изменения являются беспрецедентными в масштабах от десятилетий до тысячелетий. Каждое из трех последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием, начиная с 1850 г. В многолетнем ходе глобальной температуры наиболее интенсивное потепление прослежи-

вается в течение последних 30–40 лет, так в пределах территории России скорость потепления составляет более 0,45 °C/10 лет, причем интенсивность потепления неодинакова в разных частях страны [7, 8]. Тенденция потепления климата отмечается и на региональном уровне для рассматриваемой территории. В целом текущее потепление началось в Заволжско-Уральском регионе с 1970-х гг. с максимальным ростом температуры воздуха с середины 1990-х гг. [9].

Еще одним из распространенных подходов к анализу современных тенденций трансформации климата является расчет показателей аномальности среднегодовой температуры по отношению к нормированным значениям (рис. 2). Согласно данным Росгидромета [10], 2016 г. стал пятым среди самых теплых с 1936 г. – осредненная по территории России среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961–1990 гг.) составила +1,69 °C и соответствует средней тенденции роста за период с 1976 г.

Полученные оценки аномалий среднегодовых температур воздуха (Оренбург и Уральск) свидетельствуют о том, что 2016 г. был самым теплым начиная с 1926 г. – среднегодовая аномалия (отклонение от среднего за 1961–1990 гг.) состави-

ла +2,6 °C, даже несмотря на то, что летний экстремум в пределах исследуемой территории отмечается не в 2016 г., а в 2010 г. (Оренбург +4,8 °C).

Отметим, что для анализа условий стокообразования существенное значение имеет также определение сезонных тенденций температуры приземного слоя (таблица).

Изменение значений среднегодовых температур по сезонам

Метеостанции	Сезоны года, периоды			
	зима	весна	лето	осень
1926–1960				
Оренбург	–13,9	3,9	20,7	4,6
Илек	–13,4	3,9	17,8	3,6
Актобе	–14,0	4,2	21,3	4,7
Уральск	–13,1	4,4	21,3	5,1
1961–1990				
Оренбург	–12,2	5,4	20,6	5,0
Илек	–12,7	4,4	19,2	3,9
Актобе	–12,5	5,5	21,2	5,2
Уральск	–11,2	6,2	21,0	5,7
1990–2017				
Оренбург	–11,0	6,2	21,3	6,0
Илек	–12,3	4,3	19,2	4,3
Актобе	–11,4	6,1	21,8	5,8
Уральск	–9,7	7,1	22,0	6,6

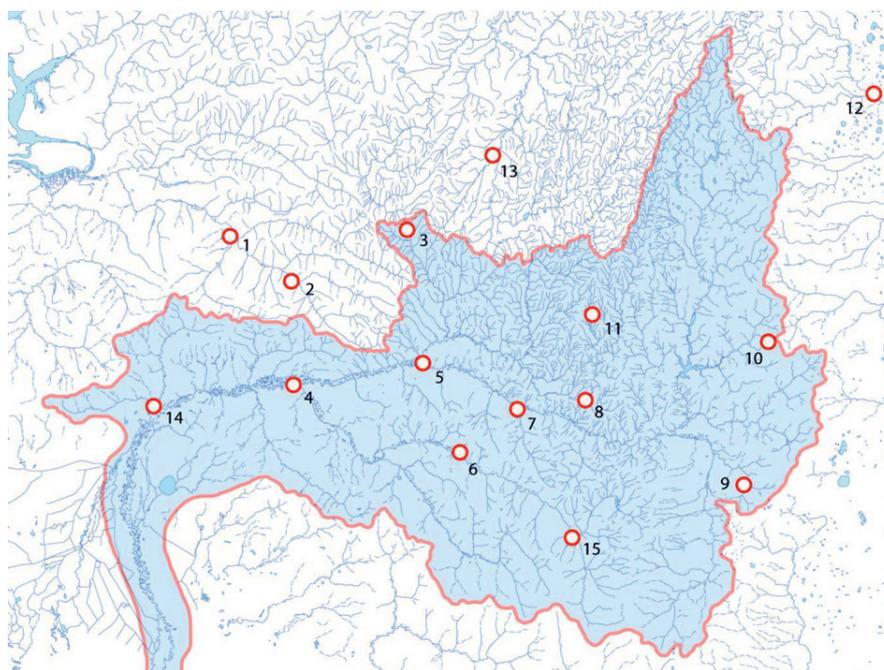


Рис. 1. Схема расположения метеостанций: 1 – Бузулук, 2 – Сорочинск, 3 – Шарлык, 4 – Илек, 5 – Оренбург, 6 – Акбулак, 7 – Беляевка, 8 – Кувандык, 9 – Домбаровка, 10 – Айдырля, 11 – Зилаир, 12 – Троицк, 13 – Стерлитамак, 14 – Уральск, 15 – Актобе

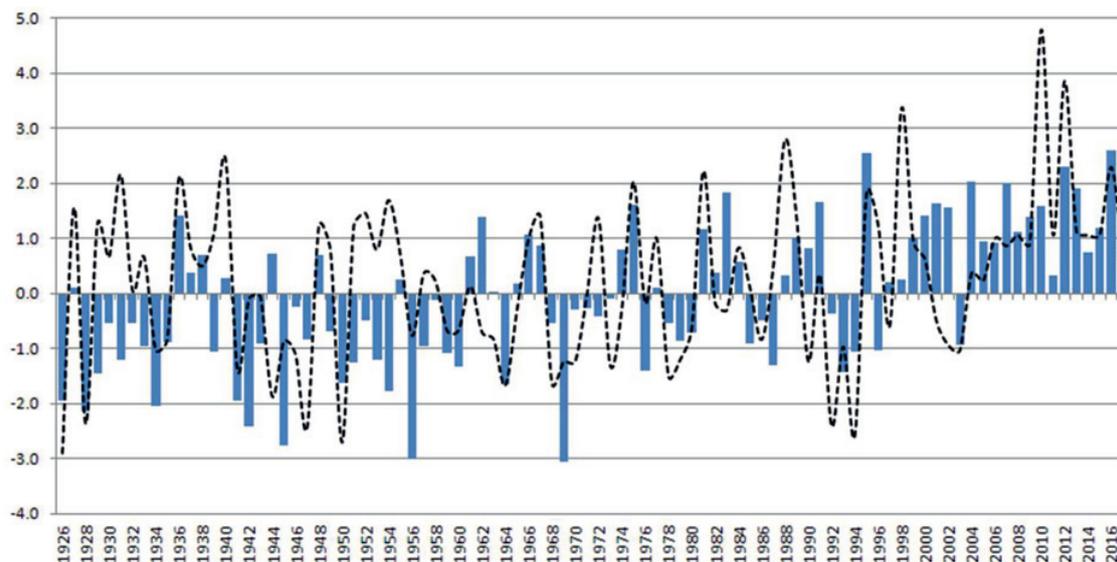


Рис. 2. Аномалии среднегодовой (столбцы) и летней (график) температур воздуха (°С, Оренбург, 1926–2017)

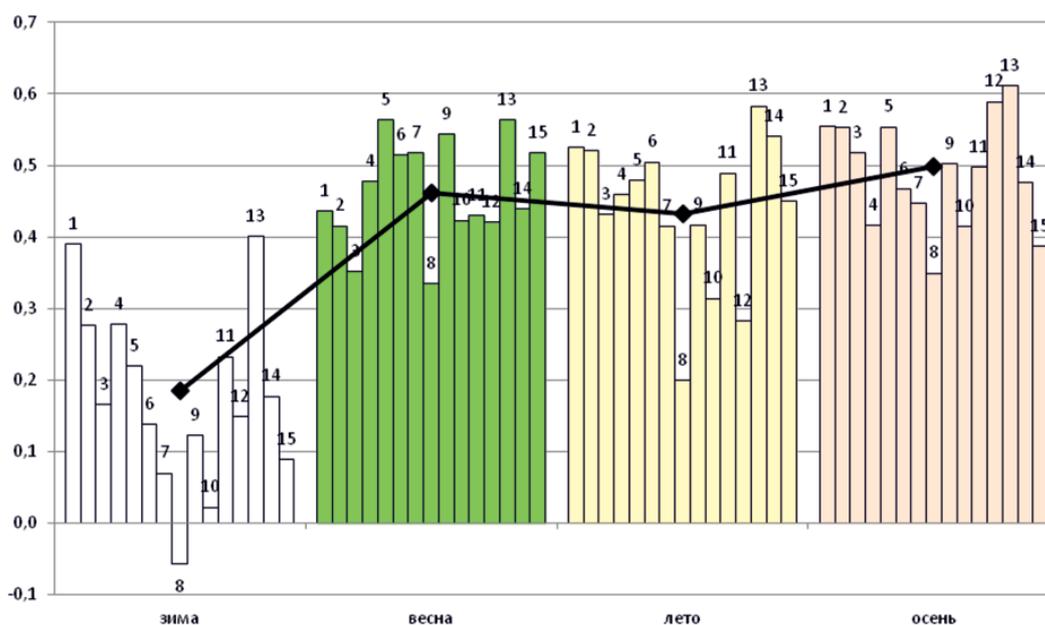


Рис. 3. Сезонное распределение коэффициентов линейного тренда динамики температур за 1977–2015 гг. по метеостанциям (°С/10 лет). В подписях – номера метеостанций, согласно рис. 1

Согласно полученным данным, в пределах Заволжско-Уральского региона выявлена следующая тенденция – наиболее заметное потепление отмечается в весенний и зимний периоды с максимальными положительными аномалиями в южной части рассматриваемой территории.

Региональные тенденции изменения температуры воздуха во внутригодовом

разрезе подтверждаются расчетом коэффициентов линейного тренда (рис. 3). В целом исследуемый регион по росту среднегодовых температур относится к единой с европейской частью России зоне, для которой характерны значения 0,4–0,5°С/10 лет [7]. Обращает внимание определенное снижение многолетнего роста температурных значений по направлению к восточным

и юго-восточным районам территории, соответствующим наиболее значимым зонам формирования речного стока р. Урал. Наиболее значительный и повсеместный рост температур происходит в безморозные сезоны года, составляя в среднем $0,4-0,5^{\circ}\text{C}/10$ лет. Нарастание температур в весенний период несколько существеннее для центральной зоны (Оренбург, Беляевка, Акбулак) и некоторых южных районов. Наоборот, более значимое повышение многолетних температур летом и осенью характерно для западных лесостепных и степных районов (Бузулук, Сорочинск, Уральск, Стерлитамак).

Абсолютные максимумы роста среднемесячных температур отмечаются в марте и в августе, достигая $0,80$ и $0,86^{\circ}\text{C}/10$ лет (соответственно) при средних значениях за месяц в $0,63$ и $0,72^{\circ}\text{C}/10$ лет. Зимой тенденции нарастания температур не столь однозначны, в среднем скорость составляет $0,18^{\circ}\text{C}/10$ лет. Наименьший рост температур отмечается в юго-восточных районах (Беляевка, Актобе, Айдырля), а по метеостанции Кувандык наблюдается единственное снижение зимних температур – $-0,06^{\circ}\text{C}/10$ лет за декабрь-февраль, с максимумом снижения в феврале – $-0,25^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Кроме оценки изменений климатических средних, существенный интерес для выявления региональных тенденций представляет исследование непосредственно измеренных экстремальных значений метеорологических величин [11]. Так, абсолютные минимумы по данным метеостанции Оренбург изменяются от $-43,2$ до $-23,1^{\circ}\text{C}$.

Анализ повторяемости абсолютных минимумов показал, что интервал максимально низких температур преимущественно изменяется от -30 до -38°C и в редких случаях они опускаются ниже -40°C .

Обращает внимание наблюдаемая тенденция увеличения повторяемости абсолютных максимумов в интервале $23-24^{\circ}\text{C}$. Прежде всего, данная тенденция характерна для периода 1976–2006 гг., который характеризуется переходом к современному режиму потепления климата. Абсолютные максимумы температуры воздуха изменяются в диапазоне от 34 до 40°C . В последний 30-летний период повторяемость экстремально высоких температур (выше 38°C) возросла с 10 до 20%, а частота повторяемости абсолютных максимумов в диапазоне $36-37^{\circ}\text{C}$, наоборот, снизилась по отношению к базовому периоду.

Еще одним доказательством трансформации региональной климатической системы, непосредственно влияющей на условия формирования речного стока, служит увеличение суммы положительных температур воздуха за зимний период (рис. 4). Данный показатель важен для накопления снежных и водных ресурсов и прохождения весеннего половодья, так и формирования запасов подземных вод, питающих реку в межень [9].

Согласно полученным данным, значительное увеличение суммы положительных температур отмечается с середины 1990-х гг. – экстремальными по продолжительности оттепели были в 2000, 2002 и 2008 гг.

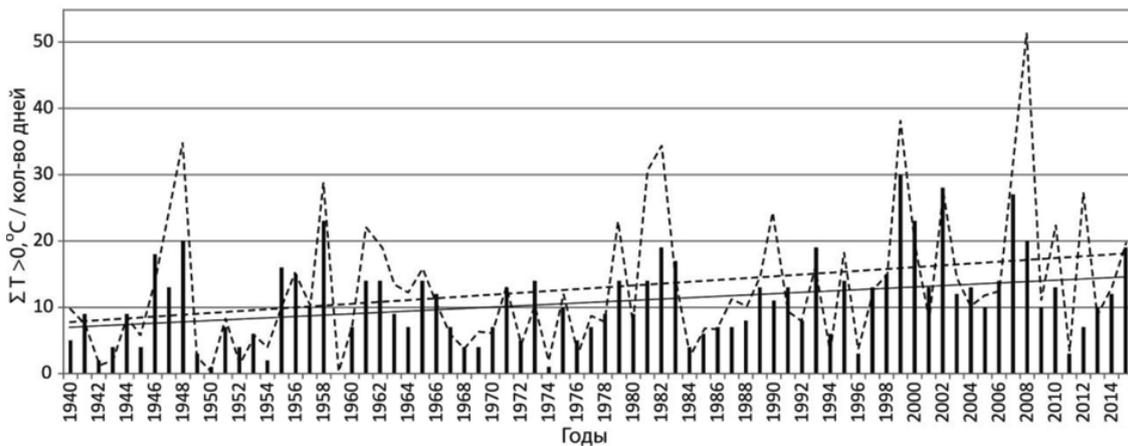


Рис. 4. Совмещенный график сумм зимних положительных среднесуточных температур и диаграмма продолжительности дней с положительными температурами (г. Оренбург)

В целом для территории России отмечается более заметное потепление в зимний и весенний периоды, в остальные сезоны года рост температуры менее выражен [12]. Одним из следствий изменения температурного режима является увеличение водности рек в период зимней межени, преимущественно в пределах Европейской части России, в том числе для бассейна р. Урал [13].

Динамика осадков. Нарастание температур не ведет к однозначному снижению увлажненности территории в связи с тем, что количество выпадающих атмосферных осадков определяется в большей степени характером циклональной деятельности. Естественно, что количество осадков – более «случайный» климатический параметр, чем ход температуры, тем не менее в многолетнем разрезе можно проследить основные тенденции в динамике влагообеспеченности рассматриваемого региона.

Ниже приведены сведения о динамике атмосферных осадков в аспекте сезонов года и в аспекте положения рассматриваемых 13 метеостанций (рис. 5). Сезонное распределение динамики осадков отчасти имеет сходную с температурой общность – осадки по станциям в безморозный период значительно более однотипны, чем зимой. Но вместе с тем повсеместный рост наблюдается лишь весной, а летом и осенью – практически постоянное снижение осадков. Рост зимних осадков отмечается лишь в лесостепной части Южного Приуралья, на

остальной территории наблюдается снижение количества выпадаемых осадков, либо их неясная динамика.

Обобщая полученные данные, можно констатировать общее снижение количества атмосферных осадков за год по всему бассейну р. Урал и прилегающим территориям. Увеличение осадков в зимне-весенний период должно было бы привести к увеличению стока в период весеннего половодья, но, как показывают предшествующие исследования [13], этого не происходит. Следует учитывать, что большая часть осадков в регионе выпадает преимущественно в теплое время года, но, как известно, сток рек казахстанского типа формируют осадки холодного периода.

Осадки теплого периода, хотя и не имеют столь значимую роль (как зимние) в питании степных рек, существенное сокращение их количества не может не отразиться на водности рек. Наиболее заметно это для районов Южного Урала (Зилаир, Кувандык, Беляевка) и Зауралья (Домбаровка), являющихся зоной активного формирования стока р. Урал.

От общерегиональной динамики климата существенно отличаются данные по метеостанциям Илек (практически абсолютным постоянством по осадкам по всем сезонам) и Кувандык (минимальный рост по температурным значениям), что, по видимому, связано с особенностями их географического расположения.

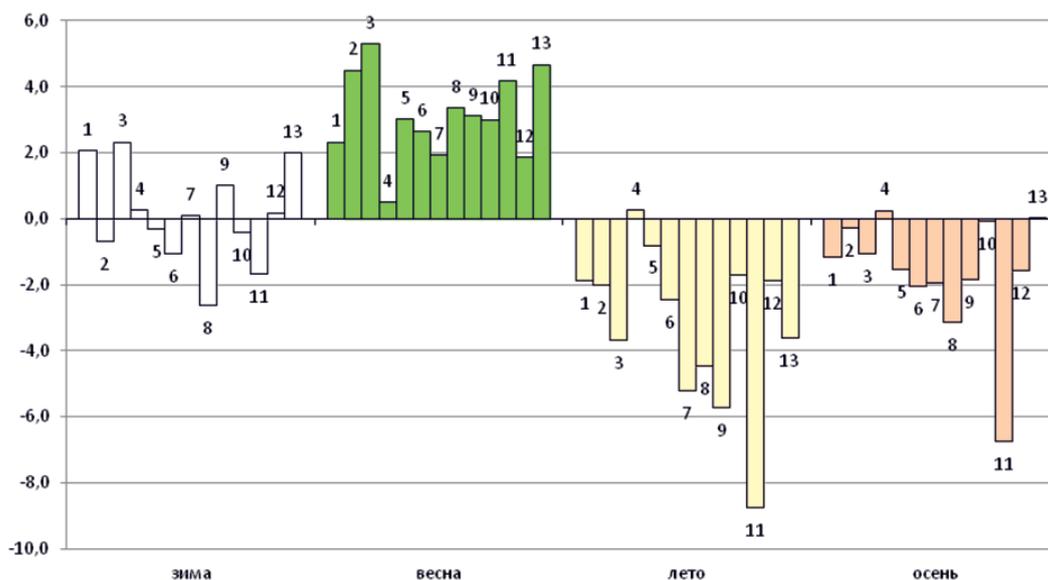


Рис. 5. Сезонное распределение коэффициентов линейного тренда динамики осадков за 1977–2015 гг. (мм/10 лет). В подписях – номера метеостанций, согласно рис. 1

Заключение

Полученные данные по динамике температуры воздуха и количества осадков свидетельствуют о том, что регион испытывает тенденции изменения климата, в целом присущие всей европейской части России. Наиболее отчетливо наблюдается повышение среднемесячных показателей температуры, характерное для безморозных сезонов года. В совокупности со снижением количества атмосферных осадков эта тенденция создает риски для традиционного водо- и землепользования.

В то же время зимний период – наиболее неоднородный и разнонаправленный сезон года в многолетней динамике климатических показателей. По температурным параметрам зимой в Предуралье наблюдается проявление нарастания континентальности, выражающееся в снижении значительного линейного тренда по направлению на восток, до предгорий Южного Урала. При этом метеостанции, расположенные в южной степной части Предуралья, показывают минимальный рост температур, тогда как находящаяся в лесостепной части (Стерлитамак) – максимальный рост, как в зимний, так и в безморозные сезоны.

Линейные тренды показывают лишь общую (долговременную) направленность климатической динамики, но не отражают такие важные показатели природных процессов, как цикличность и изменчивость, являющиеся актуальной проблемой для природопользования в засушливых регионах.

Работа выполнена в рамках госзадания ИС УрО РАН № АААА-А17-117012610022-5 и № АААА-А18-118011690034-6.

Список литературы / References

1. Закономерности гидрологических процессов / Под ред. Н.А. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2012. 736 с.
The laws of hydrological processes. / Ed. Alekseevsky. M.: GEOS, 2012. 736 p. (in Russian).
2. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: МГУ, 1990. 304 с.
Evstigneev V.M. River runoff and hydrological calculations. M.: MGU, 1990. 304 p. (in Russian).
3. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. Влияние изменения годовых значений температуры воздуха и осадков на сток рек Русской равнины // Известия РАН. Серия Географическая. 2007. № 5. С. 64–70.
Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Zaitseva I.S. The effect of changes in the annual values of air temperature and precipitation on the river flow of the Russian Plain // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2007. № 5. P. 64–70 (in Russian).
4. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Особенности реакции рек Русской равнины на изменение температуры воздуха // Известия РАН. Серия Географическая. 2012. № 6. С. 55–62.
Dolgov S.V., Koronkevich N.I. Peculiarities of the Russian Plain Rivers Response to the air Temperature Change // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2012. № 6. P. 55–62 (in Russian).
5. Долгов С.В. Климатические изменения годового речного стока и его составляющих в Европейской части России // Известия РАН. Серия Географическая. 2011. № 6. С. 78–86.
Dolgov S.V. Climate Changes of the Annual Rivers' Runoff and its Components in the European Part of Russia // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2011. № 6. P. 78–86. (in Russian).
6. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group Bern, Switzerland, 29 January 2016. [Electronic resource]. URL: <http://climate2013.org> (date of access: 5.09.2019).
7. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата на территории РФ, 2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/2016-03-21-16-23-52> (дата обращения: 5.09.2019).
8. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А. Внутригодовое распределение стока рек с оценкой роли зимней межени // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 6. С. 603–611. DOI: 10.7868/S0321059617060049.
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. V. 44. № 6. P. 785–792. DOI: 10.1134/S0097807817060045.
9. Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р. Урал // Наука. Техника. Технология (Политехнический вестник). 2017. № 3. С. 39–61.
Magritsky D.V., Kenzhebaeva A.Zh. Regularities, characteristics and causes of the rivers in the Ural river catchment annual and seasonal water flow variability // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). 2017. № 3. P. 39–61.
10. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. М.: Росгидромет, 2017. 70 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/Доклад2016.pdf (дата обращения: 5.09.2019).
11. Report on climate features in the Russian Federation for 2016. M.: Roshydromet, 2017. 70 p. [Electronic resource]. URL: http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/Report2016.pdf (date of access: 5.09.2019). (in Russian).
12. Кочугова Е.А., Кошкин Д.А. Тенденции изменения годовых экстремумов приземной температуры воздуха на территории Иркутской области // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 63–69.
Kochugova E.A., Koshkin D.A. Trends in annual extremes of surface air temperature in the Irkutsk region // Geography and Natural Resources. 2010. № 2. P. 63–69 (in Russian).
13. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Современные и перспективные изменения стока рек России под влиянием климатических факторов // Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата. СПб: Наука, 2007. С. 20–32.
Shiklomanov I.A., Georgievsky V.Yu. Modern and perspective changes in the flow of Russian rivers under the influence of climatic factors // Vodnyye resursy sushi v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata. SPb: Nauka, 2007. P. 20–32 (in Russian).
14. Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А. Проблемы устойчивого водопользования в трансграничном бассейне р. Урал // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 4. С. 504–516. DOI: 10.7868/S0321059617040162.
Sivokhip Zh.T., Pavleichik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Problems of sustainable water use in the transboundary basin of the Ural River // Water Resources. 2017. V. 44. № 4. P. 504–516 (in Russian).