Физико-географические исследования

УДК 551.583.1

Р.Г. Галимова

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

В статье представлен анализ климатических характеристик режимов температуры воздуха и атмосферных осадков на территории Республики Башкортостан в период 1966–2015 гг. За соответствующий период рассчитаны базовые характеристики рассматриваемых климатических величин. Для выявления тенденций анализируемых показателей применялся тренд-анализ. Детально рассмотрены случаи аномалий температуры воздуха и сумм осадков по критериям интенсивности и продолжительности их существования для разных временных периодов и регионов республики. Оценка влияния циркуляционных факторов на показатели температурно-влажностного режима региона производилась с помощью корреляционного анализа между ними и индексами циркуляции атмосферы – Североатлантического, Арктического, Скандинавского, Атлантического мультideкадного колебаний.

Ключевые слова: климат, температура воздуха, сумма атмосферных осадков, аномалия, индексы циркуляции, Республика Башкортостан.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-83-93

Изучение глобальных и региональных изменений климата является одним из приоритетных направлений современных исследований, поскольку последствия при климатических изменениях затрагивают многие природные процессы, а также сферы экономики любого государства. Проблема глобальных и региональных изменений климата нашла свое отражение в пяти «Оценочных докладах» Межправительственной группы экспертов по изменению климата (1990, 1995, 2001, 2007, 2014 гг.) и двух «Оценочных докладах Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» (2009, 2014 гг.). В резюме этих докладов достаточно полно представлены материалы о климатических изменениях планеты и отдельных ее регионов, последствиях влияния глобального потепления на природные компоненты, экосистемы и антропогенные сферы деятельности. Климатическая доктрина РФ (2009 г.) также базируется на анализе степени защищенности и уязвимости экологических систем, экономики и населения к изменениям климата и существующих возможностей адаптации к ним, а также на оценке возможностей смягчения антропогенного воздействия на климат. В сентябре 2019 г. Россия ратифицировала Парижские соглашения по климату. Климатические и погодные вызовы находят отклик и на ежегодных экономических форумах в Давосе.

Региональные климатические процессы, как правило, более выражены, чем глобальные, которые нивелируются изменениями в других регионах, а также Мирового океана. При этом протекающие в регионах природно-климатические явления и процессы влияют на природную среду и социально-экономическую сферу.

Для обширной и сложной в физико-географическом отношении территории Республики Башкортостан (РБ) проблема изучения современной изменчивости основных климатических показателей актуальна для различных отраслей экономики и населения. Поэтому целью настоящего исследования является изучение изменений температурно-влажностного режима на территории РБ в современный период.

Материалы и методы исследований

В исследовании анализировались данные многолетних наблюдений на 30 метеорологических станциях сети Башкирского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (БашУГМС) в период 1966–2015 гг. Кроме этого, использовались данные срочного разрешения из архива ВНИИГМИ-МЦД [1] по 8 станциям сети БашУГМС.

При оценке влияния циркуляционных факторов на температурно-влажностный режим использовались данные NCEP/NCAR реанализа Центра прогноза климата NOAA (США) об индексах САК, АО, SCAND, АМО [2].

Для анализа территориальной и временной изменчивости климатических величин были рассчитаны их базовые характеристики с использованием программного пакета Excel: среднее (климатические нормы 1966–2015 гг. и 1981–2010 гг.), среднеквадратическое отклонение (СКО), аномалия величины (Δ); максимальные и минимальные значения величин.

Оценка региональных изменений климата в регионе получена с применением тренд-анализа и корреляционного анализа. Уравнение линейного тренда имеет вид $y(\tau) = a\tau + b$, где $y(\tau)$ – сглаженное значение величины на момент времени τ (1, 2, 3, ..., n), a – угловой коэффициент наклона линии тренда (КНЛТ), характеризующий скорость изменения величины, b – свободный член (начальное значение линии тренда). Положительное значение коэффициента a указывает на рост (повышение) значения величины, отрицательное – на его снижение (уменьшение). Величиной коэффициента детерминации R^2 оценивался вклад линейного тренда в общую изменчивость показателя. Тенденция в 50-летнем периоде считалась статистически значимой при уровне достоверности 95 %, если величина $R^2 > 0,08$ [3]. Достоверность результатов оценивалась с помощью критериев Фишера и Стьюдента.

Для оценки состояния любого отдельного года или периода рассчитывались аномалии температуры воздуха (ΔT) и сумм атмосферных осадков (ΔR), которые представляют собой разность между фактическим значением метеовеличины и климатической нормой. В расчетах аномалий использована базовая норма периода 1981–2010 гг.

Результаты и их обсуждение

Башкортостан является сложным регионом как в отношении геологического и геоморфологического устройства, так и климатических условий, обусловленных расположением территории на границе Русской равнины и Уральских гор. Орографические особенности территории республики формируют климатическую дифференциацию отдельных ее частей.

В соответствии с физико-географическим районированием республики (1964) выделяют равнинное Башкирское Предуралье, Южный Урал (горная часть), Башкирское Зауралье.

Термический режим и его изменения. Температура воздуха (ТВ) является одной из основных метеорологических величин, наиболее полно характеризующих физическое состояние атмосферы, погоду и климат местности. Она постоянно меняется в пространстве и во времени. К регулярным изменениям относится годовой ход ТВ. Из-за циркуляционного фактора, приводящего к адвекции тепла или холода, возникают ее нерегулярные (апериодические) изменения.

На территории республики средняя годовая температура воздуха (СГТВ), осредненная за 1966–2015 гг., составляет 2,9 °С. В Предуралье она варьирует от 2,3–3,0 °С в северной части до 3,5–4,0 °С – в южной части, снижаясь на северо-востоке до 1,8–2,1 °С (из-за Юрюзано-Айского понижения). В пределах возвышенной части Башкирского Предуралья СГТВ составляет 2,8 °С и зависит от влияния Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Наименьшие значения СГТВ отмечаются в горной части, где они составляют 1,0–1,6 °С. На севере меридионально вытянутого Зауралья СГТВ равна 1,7 °С, на юге – 3,3 °С.

Таблица 1

**Температура воздуха в центральные месяцы сезонов и за год
в периоды 1966–2015 и 1981–2010 гг. на территории РБ (°С)**

Месяц	Период	Предуралье	Южный Урал	Зауралье	РБ
I	1966-2015	-13,7	-14,5	-14,6	-13,9
	1981-2010	-12,4	-13,5	-13,3	-12,6
IV	1966-2015	4,8	3,3	4,1	4,5
	1981-2010	4,6	3,0	3,9	4,3
VII	1966-2015	19,2	17,2	18,6	18,8
	1981-2010	19,5	17,3	18,8	19,0
X	1966-2015	3,5	1,8	2,8	3,1
	1981-2010	4,2	2,3	3,5	3,8
Год	1966-2015	3,2	1,8	2,5	2,9
	1981-2010	3,5	1,9	2,8	3,2

Рассматривая климатические нормы за периоды осреднения 1966–2015 и 1981–2010 гг. (табл. 1), можно отметить, что они увеличились по всем регионам республики, а также по всем месяцам (кроме апреля в Зауралье).

Расположение республики в области умеренно-континентального климата обуславливает простой вид годового хода ТВ: самые низкие значения приходятся на зимний период (январь); интенсивный рост происходит весной; формирование летнего пика – июль, резкое снижение – осенью.

Диапазон колебаний средней месячной температуры воздуха (СМТВ) января на территории более значительный, чем в месяцы летнего периода. В северной части республики СМТВ января составляет $-14,2...-14,4^{\circ}\text{C}$, в южной половине она выше ($-13,3...-14,0^{\circ}\text{C}$), в горной области и в Зауралье – ниже ($-14,3...-14,9^{\circ}\text{C}$ и $-14,5...-14,7^{\circ}\text{C}$, соответственно), на северо-востоке – опускается ниже $-15,0^{\circ}\text{C}$. Самая высокая СМТВ января характерна для западных окраин республики, где она варьируется в пределах $-12,9...-13,1^{\circ}\text{C}$. Самая низкая СМТВ января наблюдается в горной части РБ и составляет $-16,2^{\circ}\text{C}$ (ст. Башгосзаповедник).

Наивысшими СМТВ июля характеризуются южные окраинные части Предуралья ($20,0-20,2^{\circ}\text{C}$). В северной части эта величина составляет $18,2-19,0^{\circ}\text{C}$, по центру Предуралья – $18,5-19,5^{\circ}\text{C}$, на северо-востоке – $17,0-17,5^{\circ}\text{C}$. Таким образом, июльская СМТВ уменьшается в направлении с запада на восток (к Уральским горам). В Зауралье широтность распределения ТВ восстанавливается, и она уменьшается с севера региона на юг от 17 до 20°C .

Годовая амплитуда ТВ на территории РБ колеблется от $30,9^{\circ}\text{C}$ в горной части (ст. Тукан) до $34,9^{\circ}\text{C}$ в южном Зауралье (ст. Акъяр), где нарастает континентальность климата. Среднереспубликанское значение годовой амплитуды ТВ для периода 1966–2015 гг. составляет $32,7^{\circ}\text{C}$, для периода 1981–2010 гг. – $31,7^{\circ}\text{C}$.

Абсолютные максимумы ТВ зафиксированы на станциях в южных частях Предуралья и Зауралья и составляют $40,1-40,7^{\circ}\text{C}$ (ст. Раевский в июле 1971 г., ст. Мраково в июле 1984 г., ст. Акъяр в августе 1968 г.). Абсолютный минимум ТВ отмечен в 1979 г. на ст. Аскино ($-53,7^{\circ}\text{C}$). В этом году были также зафиксированы экстремумы ТВ в северной части РБ на станциях Емаши ($-52,5^{\circ}\text{C}$), Караидель ($-52,2^{\circ}\text{C}$), Улу-Теляк ($-51,7^{\circ}\text{C}$) и Янаул ($-50,3^{\circ}\text{C}$).

В течение года величина СКО ТВ по месяцам имеет закономерный ход: наибольшие величины выявлены в холодном периоде, наименьшие – в теплом. Следовательно, теплый сезон по температурному режиму оказывается более устойчивым, чем холодный. Анализ территориального распределения СКО СМТВ выявил, что наибольшие значения этого показателя в среднем характерны для равнинных районов Башкирского Предуралья и Зауралья, наименьшие – для горной части РБ.

Тренд-анализ полученных результатов (рис. 1) выявил, что осредненный КНЛТ СГТВ для республики положительный и составляет $0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет. Это определяется значимым ростом СГТВ на всех станциях РБ. Обнаружено, что осредненные по территории КНЛТ ТВ имеют положительные значения во все месяцы. Выявлены месяцы с высокой долей станций со статистически значимыми трендами – октябрь, июнь, январь, август (100, 97, 73 и 50 %, соответственно).

Рис. 1. Осредненные для республики КНЛТ температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) по месяцам и за год за 1966–2015 гг.: темными столбцами выделены статистически значимые тренды

Анализ межгодовых изменений СГТВ выявил, что наибольшее ее увеличение характерно для Южного Урала ($0,45^{\circ}\text{C}/10$ лет). Несколько меньше оно в Предуралье ($0,42^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Зауралье ($0,40^{\circ}\text{C}/10$ лет). По всем регионам республики тренды СГТВ статистически значимы.

Наибольшая скорость роста ТВ отмечается в январе (в среднем в РБ $0,87^{\circ}\text{C}/10$ лет). Максимальные значения КНЛТ ТВ января выявлены на станциях Улу-Теляк ($1,21^{\circ}\text{C}/10$ лет), Стерлитамак ($1,1^{\circ}\text{C}/10$ лет), Архангельское ($1,12^{\circ}\text{C}/10$ лет), то есть на территориях предгорной части Урала, а также на станциях Башгосзаповедник ($1,01^{\circ}\text{C}/10$ лет), Кананикольское ($0,9^{\circ}\text{C}/10$ лет), то есть на территории горной части. Уменьшение значений КНЛТ ТВ января отмечается в сторону севера Зауралья, северо-запада и крайнего юга Предуралья.

В июле средний по республике КНЛТ ТВ составляет $0,25^{\circ}\text{C}/10$ лет. Наибольшее увеличение июльской ТВ выявлено на ст. Стерлитамак, которая является единственной со статистически значимой тенденцией ($0,42^{\circ}\text{C}/10$).

Для оценки термического состояния любого отдельного года (периода) проанализированы аномалии ТВ (ΔT). В расчетах были использованы критерии выделения аномалий ТВ разной интенсивности согласно Руководящим указаниям Всемирной Метеорологической Организации [4], используемым управлениями по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета [5] и представленным в табл. 2.

Таблица 2

**Критерии аномалий ТВ разной интенсивности для разных периодов
(по данным Руководящих указаний ВМО, 2017)**

Критерий	Сутки	Месяц	Сезон	Год
Очень холодный	$\Delta T_{\text{сут}} \leq -7$	$\Delta T_{\text{мес}} \leq -4$	$\Delta T_{\text{сез}} \leq -3$	$\Delta T_{\text{сез}} \leq -0,7$
Холодный	$-7 < \Delta T_{\text{сут}} < -3$	$-4 < \Delta T_{\text{мес}} < -1$	$-3 < \Delta T_{\text{сез}} < -0,7$	$-0,7 < \Delta T_{\text{сез}} < -0,4$
НОРМА	$-3 \leq \Delta T_{\text{сут}} \leq 3$	$-1 \leq \Delta T_{\text{мес}} \leq 1$	$-0,7 \leq \Delta T_{\text{сез}} \leq 0,7$	$-0,4 \leq \Delta T_{\text{сез}} \leq 0,4$
Теплый	$3 < \Delta T_{\text{сут}} < 7$	$1 < \Delta T_{\text{мес}} < 4$	$0,7 < \Delta T_{\text{сез}} < 3$	$0,4 < \Delta T_{\text{сез}} < 0,7$
Очень теплый	$\Delta T_{\text{сут}} \geq 7$	$\Delta T_{\text{мес}} \geq 4$	$\Delta T_{\text{сез}} \geq 3$	$\Delta T_{\text{сез}} \geq 0,7$

Рассмотрены аномалии СГТВ различной интенсивности по регионам республики. Анализ результатов показал, что наибольшее количество температурных аномалий СГТВ в РБ относится к отрицательным (44 % случаев), из которых 38 % – к очень холодным годам. Наибольшее число аномалий СГТВ, относящихся к критерию «очень холодного» года, выявлено на Южном Урале (38 %). Наибольшее число «очень теплых» лет обнаружено в Предуралье (20 %).

Анализ межгодовой изменчивости аномалий ТВ холодного и теплого сезонов выявил, что в холодном периоде значения ΔT имеют очень большой разброс: от $-14,3^{\circ}\text{C}$ (1969 г.) до $7,7^{\circ}\text{C}$ (2007 г.). В теплом периоде диапазон ΔT гораздо меньше: от $-3,7^{\circ}\text{C}$ (1994 г.) до $3,2^{\circ}\text{C}$ (2010 г.). Установлено увеличение повторяемости положительных аномалий ТВ в зимних месяцах и СГТВ в последние два десятилетия исследуемого периода.

Проведены расчеты по продолжительности жизни аномалий СМТВ по критериям ВМО (табл. 2), результаты которых представлены на рис. 2.

Рис. 2. Повторяемость времени жизни аномалий среднемесячных температур воздуха, осредненных по территории РБ (1966–2015 гг.)

При анализе результатов (рис. 2) выявлено, что из всей совокупности месяцев (600) наибольшее их количество (219) относится к отрицательным аномалиям СМТВ (36,5 % от всех случаев). Из числа случаев отрицательных аномалий с продолжительностью жизни в 1 месяц на «холодные месяцы» при-

ходятся 53,5 % и на «очень холодные» – 23,3 %, 2 месяца – 14,5 и 1,3 %, 3 месяца – 3,8 и 0 %, 4 месяца – 1,3 и 0,6 %, 5 месяцев – 0,6 и 0 %, 6 месяцев – 1,3 и 0 %, соответственно. Самыми продолжительными по существованию были 2 случая отрицательных аномалий ТВ: с февраля по июль 1985 г., с июля по декабрь 1986 г.

Количество месяцев с положительными аномалиями СМТВ составляет 190 (31,7 % от всех случаев), из них с продолжительностью жизни в 1 месяц 57,3 % приходится на «теплые месяцы» и 12,2 % на «очень теплые месяцы», 2 месяца – 16,8 и 0,8 %, 3 месяца – 9,9 и 1,5 %, 4 месяца – 1,5 и 0 %, соответственно. Самые длительные периоды с положительными аномалиями ТВ выявлены с мая по сентябрь 2010 г. и с апреля по август 2012 г.

Обнаружено преобладание в первой половине исследуемого периода отрицательных аномалий СМТВ. Кроме этого, отрицательные аномалии являются более продолжительными по жизни. После 1990-х гг. начинают увеличиваться частота появления и продолжительность жизни положительных аномалий ТВ.

Формирование устойчивых ТВ или аномальных условий происходит под влиянием перестроек атмосферной циркуляции. Многофакторность причин межгодовой изменчивости форм циркуляции определяет сложные изменения климатических условий на региональных уровнях в пространстве и во времени. Существует большое количество публикаций, в которых использованы циркуляционные индексы для объяснения влияния атмосферной циркуляции на климат разных регионов [6-9].

Корреляционный анализ показал, что на изменение ТВ в РБ влияет перестройка циркуляционных условий в Северном полушарии. В исследуемый период многолетняя динамика рассматриваемых индексов имеет разнонаправленный ход, что свидетельствует об изменениях в макроциркуляционных процессах.

В качестве примера на рис. 3 приведена многолетняя динамика индексов циркуляции и СГТВ, между которыми выявлены значимые корреляционные зависимости. Установлено, что рост СГТВ происходит на фоне снижения индекса SCAND ($r = -0,50$) и увеличения индекса АМО ($r = 0,49$).

Рис. 3. Многолетний ход индексов SCAND, АМО, САК и СГТВ, осредненная по РБ (1966–2015 гг.): сплошная тонкая линия – фактические данные; толстая – скользящая средняя; пунктирная – полиномиальный тренд

Значимые положительные связи выявлены между осредненной по республике ТВ и индексами САК и АО преимущественно в зимние месяцы. С индексом САК в январе $r = 0,31$ и в декабре $r = 0,47$. С индексом АО в январе $r = 0,47$, феврале $r = 0,30$, декабре $r = 0,39$.

Режим атмосферных осадков и его изменения. Адвекция влаги тесно связана с циркуляцией атмосферы, которая является транспортирующим механизмом. От характера атмосферной циркуляции в значительной степени зависит количество выпадающих осадков. На территории России наибольшее проникновение влаги с Атлантики происходит вдоль 55–60° с.ш. [10]. Положение РБ в указанных широтах и сложный орографический характер ее поверхности определяют неравномерность выпадения осадков по территории.

В республике годовые суммы осадков (R) увеличиваются с юга на север, также наблюдается их увеличение в пределах Южного Урала. Наибольшее в РБ годовое количество осадков (за 1966–2015 гг.) составляет 813 мм (ст. Павловка, Уфимское плато), наименьшее – 332 мм (ст. Акъяр, юг Зауралья) при среднем их количестве 525 мм (табл. 3).

Поле осадков сильно меняется в зависимости от рельефа. В равнинной части Предуралья сумма осадков варьируется от 600 мм/год в северной части до 420–450 мм/год – в южной, с увеличением на Бугульминско-Белебеевской возвышенности до 550 мм/год. Подветренные склоны этой возвышенности, особенно с северной стороны, обуславливают снижение сумм осадков. На Уфимском плато их количество также возрастает (до 570–600 мм/год). Средняя многолетняя сумма осадков в Предуралье составляет 531 мм/год (табл. 3.1).

В пределах Южного Урала годовая сумма осадков, осредненная за период исследования 1966–2015 гг., колеблется от 550 до 680 мм с уменьшением в южном направлении. Среднее значение рассматриваемой величины в этой области составляет 576 мм/год (табл. 3).

Таблица 3

**Средние многолетние значения сезонных и годовых сумм осадков на территории РБ
в периоды 1966–2015 и 1981–2010 гг., мм**

Сезон	Период	Предуралье	Южный Урал	Зауралье	РБ
Холодный период	1966-2015	174	184	98	170
	1981-2010	187	194	99	180
Теплый период	1966-2015	357	392	272	355
	1981-2010	361	394	268	358
Год	1966-2015	531	576	370	525
	1981-2010	548	588	367	538

Примечание. Суммы атмосферных осадков рассчитывались по гидрологическим годам.

В Зауралье, находящемся в так называемой «дождевой тени», в годовых суммах осадков наблюдается значительное уменьшение, которое начинает проявляться на восточных склонах Урала (со ст. Белорецк). В Зауралье количество осадков уменьшается с севера на юг от 436 мм/год (ст. Учалы) до 332 мм/год (ст. Акъяр) при среднем их значении по региону 370 мм/год.

Среднее количество осадков за холодный период в республике составляет 170 мм. Наибольшая сумма осадков отмечается на ст. Павловка (331 мм), наименьшая сумма – на зауральских станциях Учалы и Баймак (95 мм).

Средняя сумма осадков теплого периода в РБ составляет 355 мм. Наименьшая сумма осадков характерна для зауральской станции Акъяр (227 мм). Самое большое количество осадков в теплый период выпадает на ст. Павловка (483 мм).

Внутригодовой максимум осадков приходится на июль (64 мм) и июнь (61 мм). Максимальные месячные значения отмечаются на станциях Павловка (85 мм), Тукан, Учалы (83 мм), Емаши (82 мм), Улу-Теляк (80 мм). Минимальные суммы осадков характерны для февраля-марта и составляют 27 мм. Наименьшее количество осадков в указанных месяцах наблюдается на станциях Учалы, Баймак, Емаши (15–17 мм), наибольшее – на станциях Павловка, Кумертау, Зилаир (40–50 мм).

Анализ межгодовой изменчивости атмосферных осадков показал, что коэффициент вариации их годовых сумм на территории республики увеличивается с севера на юг от 16–18 до 23–25 %. В холодный период среднее значение этого показателя в РБ составляет 26 %, наибольшая изменчивость характерна для крайних западных и южных районов Предуралья (более 30 %). В теплый период осредненный коэффициент вариации равен 24 %, наибольшая изменчивость осадков смещается на юг Зауралья (31–34 %). Временная изменчивость осадков холодного периода значительно больше теплого.

На территории республики осредненный КНЛТ годовой суммы осадков является положительным (4,95 мм/10 лет), то есть сумма осадков в период 1966–2015 гг. увеличивается (рис. 4).

Указанная тенденция определяется высокими положительными значениями КНЛТ на станциях Стерлитамак, Павловка, Буздяк, Караидель, а также преобладанием положительного знака тренда на большей части станций. Минимальные значения КНЛТ годовых сумм осадков выявлены в южной половине горной области на станциях Зилаир (-22,97 мм/10 лет) и Кананикольское (-14,39 мм/10 лет).

Рис. 4. Осредненные для республики КНЛТ сумм осадков (мм/10 лет) по месяцам и за год за 1966–2015 гг.: темными столбцами выделены статистически значимые тренды

Многолетняя динамика сумм осадков холодного периода имеет тенденцию к росту, скорость которой составляет 6,61 мм/10 лет (рис. 4). Положительные статистически значимые тренды со значениями наклона 10,4–25,4 мм/10 лет отмечаются на 7 станциях, расположенных в направлении с юго-запада на северо-восток РБ.

Осадки теплого периода в РБ уменьшаются со скоростью 1,26 мм/10 лет (рис. 4). Самые минимальные отрицательные значения КНЛТ обнаружены на южных станциях горной области республики: Зилаир (-24,38 мм/10 лет) и Кананикольское (-19,21 мм/10 лет). Максимальные положительные значения КНЛТ осадков теплого периода выявлены на станциях Верхнеяркеево (9,18 мм/10 лет), Туймазы (8,47 мм/10 лет), Караидель (7,01 мм/10 лет).

Аномалии сумм осадков и их многолетняя динамика показывают основные тенденции в режиме осадков изучаемой территории. Для отнесения года (сезона, месяца) к группе влажного или сухого периодов были выбраны критерии Г.В. Леоновой и Т.А. Богдановой [11], которые используются Росгидрометом. Согласно данной методике, год (период, месяц) относится к избыточно влажному, если сумма атмосферных осадков была больше на 20 % от средней многолетней нормы ($R \geq 120$ %), и к сухому, если сумма осадков составила 80 % и меньше от нормы ($R \leq 80$ %). Кроме этого, для выявления более крупных аномалий осадков выделялись критерии для годовой суммы осадков $R \geq 151$ % и $R \leq 50$ %. При анализе месячных аномалий сумм осадков дополнительно рассматривались случаи $R \geq 200$ %.

Полученные результаты показали, что количество «засушливых» лет в РБ, больше чем «увлажненных». Для всех регионов во все сезоны характерно преобладание отрицательных аномалий сумм осадков. В холодном периоде с середины 1990-х гг. увеличивается повторяемость положительных аномалий осадков, особенно это проявляется в марте. Выявлено, что в РБ количество лет с распределением осадков в пределах нормы в теплом периоде больше (72 %), чем в холодном (60 %). Аналогичное распределение аномалий осадков в Предуралье. На Южном Урале обнаружено, что в теплом и годовом периодах больше число лет с нормой осадков (74 %), в холодном – почти половина случаев аномальные (48 %), как и в Зауралье (46 %).

Самые крупные положительные аномалии осадков ($R \geq 150$ %) обнаружены в теплом периоде на Южном Урале в 1990 г. и в Зауралье в 2013 г.

Самые крупные отрицательные аномалии осадков ($R \leq 50$ %) выявлены в теплом периоде во всех регионах по одному случаю, в холодном периоде – только на Южном Урале (в 1967 г. выпало 44 % от нормы).

Максимальное месячное количество осадков в РБ выпало в феврале 1966 г. (209 % от нормы). Минимальное количество для республики отмечено в марте 1976 г. и составляет 0,3 мм/мес (на 99 % меньше нормы).

Расчет продолжительности жизни аномалий месячных сумм осадков представлен на рис. 5. Наибольшее число случаев приходится на аномалии продолжительностью жизни в 1 месяц, из которых положительных – 132, отрицательных – 139.

Рис. 5. Повторяемость времени жизни аномалий месячных сумм осадков, осредненных по территории РБ (1966–2015 гг.)

Для положительных аномалий с продолжительностью жизни в 1 месяц с критериями « $R \geq 121-150\%$ » приходится 47,7 %, « $R \geq 151-200\%$ » – 28,8 % и « $R \geq 200\%$ » – 9,8 %. В последнем случае аномалии обнаружены только одномесячные. На долю аномалий осадков с продолжительностью жизни в 2 месяца с критериями « $R \geq 121-150\%$ » приходится 8,5 % и « $R \geq 151-200\%$ » – 3,9 %, в 3 месяца – 0,7 и 0 %, в 4 месяца – 0 и 0,7 %, соответственно.

На долю отрицательных аномалий с продолжительностью жизни в 1 месяц с критериями « $R \leq 51-80\%$ » приходится 41,2 % и « $R \leq 50\%$ » – 37,3 %. Двухмесячные аномалии составили 11,9 и 4,0 %, трехмесячные – 2,3 и 1,7 %, четырехмесячные – 1,1 и 0,6 %, соответственно (рис. 5).

Доля случаев с месячными суммами осадков в пределах нормы составляет 29 %, положительных аномалий – 33 %, отрицательных – 38 %. Обнаружено, что отрицательные аномалии более продолжительные, по сравнению с положительными.

Самые продолжительные периоды с отрицательными аномалиями осадков составили 7 месяцев (2 случая): с июля 2005 г. по январь 2006 г., с апреля по октябрь 2010 г. Две аномалии с продолжительностью жизни в 6 месяцев выявлены с июля по декабрь 1996 г. и с августа 2007 г. по январь 2008 г.

Самая продолжительная положительная аномалия составила 6 месяцев: с января по июнь 1997 г. Аномалии с продолжительностью в 4 месяца обнаружены в весенне-летние периоды 1990, 1993, 1994 и 2007 гг., а также зимой 2000–2001 гг.

Циркуляционные факторы, являющиеся наиболее динамичными, в первую очередь, влияют на циклы увеличения или уменьшения увлажнения в разных регионах, поэтому был проведен корреляционный анализ между суммами осадков в РБ и индексами циркуляции.

Рис. 6. Многолетний ход индексов SCAND, AMO, CAK и сумм осадков марта в РБ (1966–2015 гг.): сплошная тонкая линия – фактические данные; толстая – скользящая средняя; пунктирная – полиномиальный тренд

Обнаружены значимые отрицательные коэффициенты корреляции между суммами осадков и индексом SCAND в январе ($r = -0,45$), марте ($r = -0,57$), ноябре ($r = -0,51$) и положительные – с индексом АМО весной ($r = 0,38$). Также положительные связи выявлены между индексом АО и суммой осадков января ($r = 0,40$).

Выводы

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие основные выводы.

1. Осредненная по республике СГТВ за период 1966-2015 гг. составляет $2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. По регионам республики этот показатель в Предуралье равен $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, на Южном Урале – $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, в Зауралье – $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температурный режим теплого периода оказывается более устойчивым, чем холодного. Самые значительные межгодовые колебания СГТВ выявлены на территории равнинного Предуралья.

2. Главной тенденцией современных климатических изменений на территории РБ является рост ТВ, который выявлен во все месяцы. Осредненный для республики КНЛТ СГТВ составляет $0,43\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Наибольшие значения КНЛТ средней месячной ТВ выявлены в январе ($0,87\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), октябре ($0,58\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), феврале ($0,55\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), июне ($0,53\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$).

3. Наибольшее количество аномалий СГТВ в РБ относятся к отрицательным (44 % случаев), из которых 38 % относятся к «очень холодным годам». Обнаружено преобладание в первой половине исследуемого периода отрицательных аномалий СМТВ. Отрицательные аномалии ТВ более продолжительные по жизни. После 1990-х гг. начинают увеличиваться частота и продолжительность жизни положительных аномалий ТВ.

4. Рост средней годовой и средней месячной ТВ, особенно в зимних месяцах, связан с уменьшением блокирующих процессов Скандинавского колебания и усилением зональной циркуляции благодаря Арктическому и Северо-Атлантическому колебаниям. Повышение ТВ в летние месяцы согласуется с ростом значений индекса АМО.

5. Годовая сумма осадков на территории РБ, осредненная за 1966–2015 гг., составляет 525 мм: в холодном периоде выпадает 170 мм, в теплом – 355 мм. За исследуемый период годовая сумма осадков увеличивается со скоростью $4,95\text{ мм}/10\text{ лет}$. В холодном периоде выявлено наибольшее увеличение сумм осадков ($6,61\text{ мм}/10\text{ лет}$), которое определяется значимой тенденцией в марте ($3,16\text{ мм}/10\text{ лет}$), а также положительным знаком тренда во всех месяцах этого периода. Сумма осадков теплого периода уменьшается на $1,26\text{ мм}$ за десятилетие. Значимый тренд выявлен в июне ($-5,44\text{ мм}/10\text{ лет}$).

6. В период 1966-2015 гг. в республике количество «засушливых» лет было больше, чем «увлажненных». В холодном периоде с середины 1990-х гг. увеличивается повторяемость положительных аномалий осадков, что особенно проявляется в марте. Доля месячных сумм осадков в пределах нормы составляет 29 %, положительных аномалий – 33 %, отрицательных – 38 %. Отрицательные аномалии являются более продолжительными по существованию.

7. Увеличение осадков холодного периода происходит на фоне усиления западного переноса более влажного и теплого воздуха с Атлантики при ослаблении Скандинавского антициклона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных: Специализированные массивы / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 17.06.2019).
2. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA): Teleconnections. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/dv/data/> (дата обращения: 12.05.2019).
3. Шиловцева О.А., Романенко Ф.А. Многолетние изменения температуры воздуха на Северо-Западном Таймыре и Нижнем Енисее в XX веке // Метеорология и гидрология. 2005. № 3. С. 53-68.
4. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм (2017). URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168 (дата обращения: 15.08.2018).
5. Климатическая норма и отклонения от нее / Департамент Росгидромета по Приволжскому федеральному округу. URL: <http://www.pfo.meteorf.ru/> (дата обращения: 16.05.2016).
6. Боков В.Н., Воробьев В.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции и изменение климата // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2010. Вып. 13. С. 83-88.

7. Переведенцев Ю.П., Гурьянов В.В., Шанталинский К.М., Аухадеев Т.Р. Динамика тропосферы и стратосферы в умеренных широтах Северного полушария и современные изменения климата в Приволжском федеральном округе. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. 186 с.
8. Alexander M.A., Kilbourne K.H., Nye J.A. Climate variability during warm and cold phases of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) 1871-2008 // *Journal of Marine Systems*. 2014. Vol. 133. P. 14-26.
9. Zhang X., Sorteberg A., Zhang J., Gerdes R., Comiso J.C. Recent radical shifts of atmospheric circulations and rapid changes in Arctic climate system // *Geophysical Research Letters*. 2008. Vol. 35. L22701. P. 1-7. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2008GL035607> DOI: 10.1029/2008GL035607 (дата обращения: 02.02.2019).
10. Климат России / под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 656 с.
11. Леонова Г.В., Богданова Т.А. Аномалия осадков в июле в южной половине Европейской территории СССР, на юге Западной Сибири и в северной части Казахстана и некоторые возможности ее прогнозирования // *Труды Гидрометеорологического центра СССР*. 1975. Вып. 166. С. 312-315.

Поступила в редакцию 03.03.2020

Галимова Рита Галимьяновна, старший преподаватель кафедры гидрометеорологии и геоэкологии
 ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»
 450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32
 E-mail: galim-rita@yandex.ru

R.G. Galimova

ANALYSIS OF CHANGES IN TEMPERATURE AND HUMIDITY REGIME IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN IN RECENT PERIOD

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-83-93

The article presents an analysis of the climatic characteristics of the regimes of air temperature and precipitation in the Republic of Bashkortostan in the period 1966–2015. For this period, the basic climatic characteristics are calculated. To identify changes in the analyzed values, trend analysis was used. Cases of air temperature anomalies and precipitation totals are examined in detail according to the criteria of intensity and duration of their existence for different time periods. Assessment of the influence of circulation factors on the indicators of the temperature-humidity regime of the region was carried out using a correlation analysis between them and the atmospheric circulation indexes – North Atlantic, Arctic, Scandinavian, Atlantic multi-decade oscillations.

Keywords: climate, air temperature, total precipitation, anomaly, circulation indexes, Republic of Bashkortostan.

REFERENCES

1. *Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrometeorologicheskoy informatsii – Mirovoy tsentr dannykh: Spetsializirovannyye massivy, Sayt Federal'noy sluzhby po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy* [All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Center: Specialized Arrays / Website of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring], Available at: <https://www.gismeteo.ru/> (accessed: 17.06.2019) (in Russ.).
2. Website National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). Available at: <http://www.esrl.noaa.gov/> (accessed: 12.05.2019).
3. Shilovtseva O.A., Romanenko F.A. [Long-term air temperature variations in the northwest of Taimyr and in the lower Yenisei in the 20th century], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2005, no. 3, pp. 53-68 (in Russ.).
4. *Rukovod'yashchie ukazaniya Vsemirnoy meteorologicheskoy organizatsii po raschetu klimaticheskikh norm (2017)* [Publications Board World Meteorological Organization (WMO)], Available at: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168 (accessed: 15.08.2018) (in Russ.).
5. *Klimaticheskaya norma i otkloneniya ot nee, Sayt Departamenta Rosgidrometa po Privolzhskomu federal'nomu okrugu* [Climatic norm and deviations from it / Website of the Roshydromet Department for the Volga Federal District], Available at: <http://www.pfo.meteorf.ru/> (accessed: 16.05.2016) (in Russ.).
6. Bokov V.N., Vorob'yev V.N. [Variability of atmospheric circulation and climate change], in *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*, 2010, iss. 13, pp. 83-88 (in Russ.).
7. Perevedentsev Yu.P., Gur'yanov V.V., Shantalinskiy K.M., Aukhadayev T.R. *Dinamika troposfery i stratosfery v umerennykh shirotakh Severnogo polushariya i sovremennyye izmeneniya klimata v Privolzhskom federal'nom*

- okruga* [Troposphere and stratosphere dynamics in the temperate latitudes of the Northern Hemisphere and modern climate change in the Volga Federal District], Kazan': Kazan. Univ., 2017, 186 p. (in Russ.).
8. Alexander M.A., Kilbourne K.H., Nye J.A. Climate variability during warm and cold phases of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) 1871-2008, in *Journal of Marine Systems*, 2014, vol. 133, pp. 14-26.
 9. Zhang X., Sorteberg A., Zhang J., Gerdes R., Comiso J.C. Recent radical shifts of atmospheric circulations and rapid changes in Arctic climate system, in *Geophysical Research Letters*, 2008, vol. 35 L22701, pp. 1-7. Available at: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2008GL035607>. DOI: 10.1029/2008GL035607 (accessed: 02.02.2019).
 10. *Klimat Rossii* [Climate of Russia], Kobyshevoy N.V. (ed), S.Petersbrg: Gidrometeoizdat, 2001, 656 p. (in Russ.).
 11. Leonova G.V., Bogdanova T.A. [Anomaly of precipitation in July in the southern half of the European territory of the USSR, in southern Western Siberia and in the northern part of Kazakhstan and some possibilities of its forecasting], in *Trudy Gidrometeorologicheskogo tsentra SSSR*, 1975, iss. 166, pp. 312-315 (in Russ.).

Received 03.03.2020

Galimova R.G., Senior Lecturer, Department of Hydrometeorology and Geoecology
Bashkir State University
Zaki Validi st., 32, Ufa, Russia, 450076
E-mail: galim-rita@yandex.ru