ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2016, № 4, с. 52–61

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.583:551.513

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕТНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

© 2016 г. Е.А. Черенкова

Институт географии РАН, Москва, Россия
e-mail: lcherenkova@marketresearch.ru

Поступила в редакцию 05.11.2015 г.

В статье по данным наблюдений на метеостанциях исследовано пространственно-временное изменение летней температуры на территории Западной Сибири в период 1951–2012 гг. Показано, что в рассмотренном регионе наблюдалось пространственно неоднородное повышение температуры, в конце XX – начале XXI века темпы потепления снизились. В настоящее время сохраняется неопределенность, связанная с возможной сменой направленности изменений летней температуры и формированием устойчивой тенденции замедления потепления.

Анализ длительных аномально теплых периодов в летний сезон на юге Западной Сибири показал, что, несмотря на замедление потепления, северо-западная часть Алтайского края по-прежнему подвержена наибольшему риску возникновения опасных явлений, связанных с установлением длительной аномальной жары.

Установлено, что существенный вклад в колебания летней температуры в северной части Западной Сибири вносят циркуляционные режимы, отражающие ослабление/усиление зонального переноса. На изменчивость летней температуры на юге территории наибольшее влияние оказывают колебания двух региональных центров действия атмосферы Северного полушария с центром над Скандинавией и с центром над европейской частью России. Их активизация, характеризуемая отрицательной фазой индексов атмосферной циркуляции Scand и EAWR, ассоциируется с увеличением частоты блокирующих событий над исследуемой территорией и положительных температурных аномалий.

Ключевые слова: температура воздуха, аномалии, изменение климата, атмосферная циркуляция Северного полушария, Западная Сибирь.

Введение. Глобальное потепление, начавшееся в 70-х годах прошлого века, миновав свою активную фазу в течение последнего десятилетия XX в., замедлилось в начале XXI в. Об этом свидетельствуют данные наземных и спутниковых измерений, подтверждающие, что скорость глобального потепления за последние 15 лет (1998–2012 гг.) понизилась (до 0.05 [–0.05 до +0.15] °C за десятилетие) по сравнению с периодом 1951–2012 гг. (0.12 [0.08 до 0.14] °C за десятилетие) [14]. В качестве основной причины паузы в потеплении (получившем название “hiatus”) указывается естественная изменчивость климата, в частности происходящая перестройка океанической циркуляции в тропической зоне Тихого океана, характеризующаяся переходом индекса PDO (Pacific Decadal Oscillation) в отрицательную фазу, с которой связывают уменьшение глобальной средней температуры воздуха в середине XX в. [16]. Увеличение эмиссии серосодержащих газов вследствие усиления вулканической активности в последнее время также может быть важной причиной замедления глобального потепления [13]. Дискуссия по обозначенной проблеме продолжается. Оппоненты приводят веские аргументы: с учетом существующих погрешностей в измерениях разные архивы данных показывают различные тенденции изменений; слишком короткий временной интервал еще не позволяет установить долгосрочную устойчивую тенденцию; измерения в верхней тропосфере показывают, что Земля по-прежнему получает больше энергии, чем излучает в космос [11]; уровень морей повышается; концентрация арктического морского льда продолжает снижаться [10].

Оценки линейного тренда регионально осредненной летней температуры приземного воздуха

в периоды 1976–2006 гг. и 1976–2012 гг. на территории Западной Сибири продемонстрировали уменьшение коэффициента тренда с 0.22°/10 лет до 0.19°/10 лет, что свидетельствует о снижении скорости потепления [1]. Было установлено, что изменение летнего термического режима европейской территории России (и других крупных регионов) связано с изменениями крупномасштабной циркуляции внетропической зоны Северного полушария, произошедшими на рубеже 80-х годов прошлого века [6]. Вместе с тем вариации температуры и осадков в сезон вегетации на юге Западной Сибири (включая Алтайский край) явились причиной возможной смены тенденции увлажнения азиатской части зернового пояса России в начале XXI в., признаки которой наблюдаются все чаще [3].

Анализ циклонической активности над территорией Сибири в период 1976–2006 гг. показал, что количество преобладающих в регионе циклонов, смещающихся из северных районов Сибири и из районов Кольского полуострова, статистически значимо возрастало. Напротив, число циклонов западного и южного направления значимо понизилось [2]. В той же работе установлено, что изменчивость атмосферной циркуляции может объяснять от 54 до 82% изменчивости температуры в Сибири в различные месяцы года.

В этой связи интересно определить, каковы были региональные особенности летнего потепления в Западной Сибири и как проявилось современное замедление глобального потепления на ее территории в летние месяцы? Помимо этого целью статьи было 1) выяснить, как отразилось летнее потепление на динамике гидротермических условий в Западной Сибири во второй половине XX – начале XXI века, 2) выполнить региональные оценки изменений характеристик аномально жарких периодов и 3) установить связь региональных изменений летней температуры воздуха на территории Западной Сибири и крупномасштабной атмосферной циркуляции внетропической зоны Северного полушария.

Материалы и методы. В исследовании рассмотрена территория Западной Сибири, заключенная между 60° и 90° в. д., с севера и юга ограниченная государственной границей РФ. Использованы суточные и среднемесячные данные находящихся на исследуемой территории 73 метеостанций сети Росгидромет из архива наблюдений за средней и максимальной температурой воздуха, а также суммами осадков Мирового центра данных ВНИИГМИ-МЦД (www.meteo.ru). В расчет принимались данные тех метеостанций, на которых количество пропущенных значений в рассматриваемый временной интервал не превышало 10%.

Принимая во внимание стохастический характер выпадения осадков, в фокусе данного исследования был анализ изменения диапазона температур, которые являются необходимыми фоновыми условиями для формирования экстремумов в сезон активной вегетации. Такие экстремумы ассоциируются с длительными бездождевыми периодами и аномально высокими температурами воздуха, приводящими к катастрофическим атмосферным засухам, создающими пожароопасную обстановку и негативно влияющими на здоровье людей. Опираясь на критерии опасных гидрометеорологических явлений, используемые в оперативной практике отечественной Гидрометслужбы, за “отправную точку” взяты характеризующие жаркие дни максимальные суточные температуры воздуха выше 25 °С. Дополнительно были выполнены оценки числа переходов от дней с эффективными осадками к дням с их отсутствием, косвенно характеризующих устойчивость атмосферных процессов.

Условия тепло-влагообеспеченности в сезон вегетации были проанализированы с помощью широко известного отечественного показателя увлажнения – гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова (ГТК), определяемого по формуле $ГТК = P / 0.1*T_{>10\,°C}$, где $T_{>10\,°C}$ – сумма средних суточных температур воздуха за период с температурами воздуха выше 10 °С, P – количество осадков за тот же период [8].

Пространственно-временные изменения выбранных показателей рассмотрены за два климатических периода продолжительностью 16 лет (1981–1996 и 1997–2012 гг.) по сравнению с базовым тридцатилетием 1951–1980 гг.

Для получения релевантных региональных оценок территория Западной Сибири с помощью иерархического кластерного анализа была разделена на четыре района квази-однородных изменений температуры воздуха в среднем за летние месяцы в период 1951–2012 гг. Метод иерархического кластерного анализа (Hierarchical Cluster Analysis) группирует объекты согласно выбранной мере схожести и позволяет выполнять осредненные оценки по территории более корректно. В процессе кластеризации участвовали только метеостанции без пропущенных значений, в качестве меры подобия между членами одного кластера выбран метод корреляции Пирсона, отражающий схожесть характера региональных изменений (более подробное описание алгоритма содержится в работах [12, 15]). В результате проведенной регионализации было получено четыре района. Первый

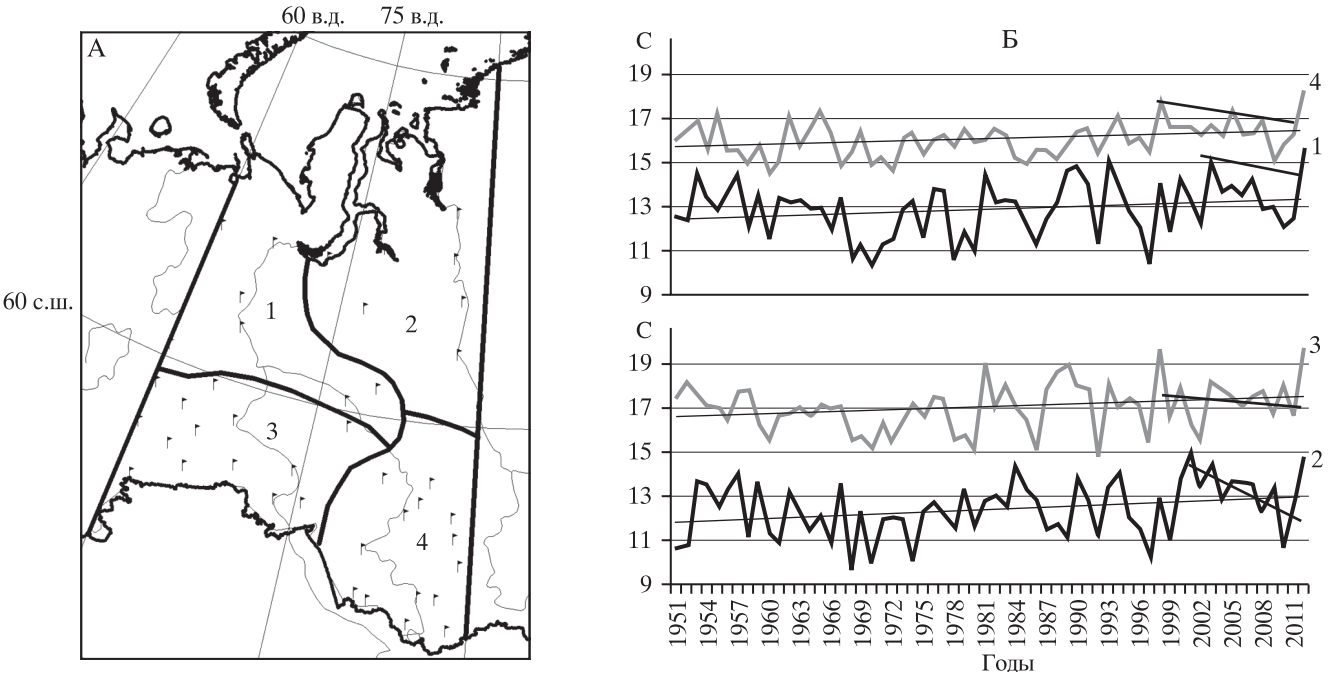

Рис. 1. Границы районов квази-однородных изменений среднемесячной температуры воздуха, осредненной за летние месяцы на территории Западной Сибири (А) и ее многолетние изменения в районах (первом, втором, третьем, четвертом) в период 1951–2012 гг. (Б).

район находится на северо-западе (коэффициенты корреляции временных рядов летних температур на каждой метеостанции первого района с рядом средних значений изменяются от 0.81 до 0.97), второй район занимает северо-восток территории (коэффициенты корреляции членов кластера с его центром от 0.89 до 0.97), третий район находится на юго-западе (коэффициенты корреляции от 0.75 до 0.98), а четвертый район – на юго-востоке (коэффициенты корреляции членов кластера с его центром от 0.75 до 0.93) (рис. 1А). Необходимо отметить, что, несмотря на высокие коэффициенты корреляции между временными рядами наблюдений на метеостанциях первого и третьего районов, третий район был рассмотрен для выявления регионального влияния циркуляционных факторов на юге рассматриваемой территории. Выбор числа кластеров аргументирован стремлением выявить основные тенденции в крупных регионах Западной Сибири.

Влияние крупномасштабной атмосферной циркуляции на региональную изменчивость летней температуры воздуха на территории Западной Сибири было исследовано с помощью циркуляционных индексов Северного полушария из архива NOAA Center for Weather and Climate Prediction (подробное описание и доступ к данным – на официальном интернет-сайте Центра прогноза погоды и климата http://www.cpc.ncep.noaa.gov), отражающих низкочастотную составляющую колебаний циркуляции атмосферы. Проанализированы пространственно-временны́е характеристики ведущих мод изменчивости барических полей, полученных в работе [9] в качестве результата разложения на естественные ортогональные функции (Empirical Orthogonal Functions, EOF) поля высоты геопотенциала 500 гПа и отражающие основные циркуляционные схемы в системе дальних связей Северного полушария. Атлантико-Европейский сектор характеризуется Северо-Атлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation, NAO); Восточно-Атлантическим колебанием (East Atlantic, (EA)), колебанием “Восточная Атлантика – Западная Россия” (East Atlantic/Western Russia, EAWR), колебанием с региональным центром действия над Скандинавией (Scandinavia, SCAND)). Атмосферная циркуляция в полярной области характеризуется колебанием “полярная область–Евразия” и ее изменения отражает циркуляционный индекс Polar/Eurasia. Основные изменения циркуляции атмосферы в Тихоокеанском секторе описываются Тихоокеанско – Северо-Американским колебанием (Pacific/North American, PNA) и колебанием с центром действия над западной частью Тихого океана (West Pacific, WP)). Влияние колебаний различных центров действия атмосферы Северного полушария на изменчивость летней температуры на юге

Таблица. Коэффициенты линейного тренда средней месячной температуры с июня по август и в целом за лето в квази-однородных районах Западной Сибири в период 1951–2012 гг.

Районы	Июнь	Июль	Август	Лето
Первый (7 метеостанций)	0.0433	–0.0049	0.0008	0.0131
Второй (7 метеостанций)	0.0505	–0.0084	0.0156	0.02
Третий (15 метеостанций)	0.024	0.0045	0.0129	0.0134
Четвертый (14 метеостанций)	0.017	0.0092	0.014	0.012

Западной Сибири определялось с помощью линейной регрессионной модели, в которой зависимой переменной являлась летняя температура воздуха в выявленных квази-однородных регионах. В качестве независимых переменных выступали временные ряды перечисленных выше индексов атмосферной циркуляции Северного полушария с мая по август в период 1951–2012 гг. Процедура пошаговой множественной регрессии, использованная в данном исследовании, применяемая в работах В.В. Поповой [5–7 и другие], позволяет выявить вклад каждого из предикторов в общую объясненную дисперсию. Для выявления механизмов воздействия изменений крупномасштабной атмосферной циркуляции, а также для определения региональной структуры годовой и сезонной температуры на севере России и в Сибири исследователями применялись и другие методы, основанные на анализе линейных зависимостей, такие, как, например, корреляционный анализ и анализ канонических корреляций [2, 4]. Выявленные асинхронные зависимости между значениями циркуляционного индекса, отражающего Арктическое колебание в зимний период, и температурами воздуха в последующие месяцы в некоторых регионах РФ могут быть использованы в прогностических оценках [4].

Статистическая значимость результатов оценивалась с помощью критерия Стьюдента (t-test с уровнем значимости 0.95) для временных рядов разной длины.

Обсуждение результатов. Рассмотрим вначале, как температура воздуха в летние месяцы изменялась во второй половине XX – начале XXI века в Западной Сибири. Положительные коэффициенты линейных трендов летней температуры в период 1951–2012 гг. на всей территории исследования свидетельствуют об увеличении температуры, причем статистически значимым потепление было только на юге Западной Сибири и в Обь-Иртышском междуречье. Из таблицы следует, что положительные тренды отмечались в каждом из летних месяцев (кроме июля) в рассмотренный период. В июле изменения практически не наблюдались.

На графике (рис. 1Б) видно, что летнее потепление на территории исследования началось в 70-х годах прошлого века. Начиная с 1998 г. на юге Западной Сибири и с 2001 г. в северной ее части, произошло замедление летнего потепления. При этом наибольшая скорость снижения летней температуры воздуха наблюдалась в северных районах (в период 2001–2011 гг. коэффициент линейного тренда составил –1°/10 лет в первом районе на северо-западе и –2.5°/10 лет во втором районе на северо-востоке). Менее заметное замедление потепления в тот же период отмечалось на юге Западной Сибири (в период 1998–2011 гг. коэффициент тренда –0.3°/10 лет в третьем районе на юго-западе и –0.8°/10 лет в четвертом районе на юго-востоке). Вместе с тем необходимо отметить, что наметившаяся тенденция нарушилась сильной засухой летом 2012 г. Также важно понимать, что тренды за короткие периоды обладают большой степенью неопределенности и очень чувствительны к выбору временного интервала исследования.

Сравнение различий среднемноголетних значений летней температуры в оба рассмотренных 16-летних периода, по сравнению с базовым периодом, также свидетельствует о росте температур. К региональным особенностям летнего потепления на территории Западной Сибири следует отнести его пространственную неоднородность. В результате наблюдаемого летнего потепления дни с жаркой погодой стали наблюдаться чаще. Число дней (в %) с максимальными суточными температурами воздуха более 25 °С увеличилось в оба рассмотренных периода с 1981 г. по сравнению с тридцатилетней нормой. В период 1981–1996 гг. рост числа жарких дней составил в среднем 4% по территории. При этом статистически значимые изменения были сосредоточены в центре исследуемого региона, а максимальные приращения (на превысившие 9% от нормы) отмечены на западе Томской области. В 1997–2012 гг. также наблюдалось увеличение числа жарких дней (рост в среднем на 5% от нормы). Наиболее ярко выраженные значимые изменения произошли на Алтае (от 9 до 11.5% от нормы) (рис. 2).

В период 1951–1980 гг. метеостанции, где хотя бы в одном году непрерывный период наблюдения максимальной суточной температуры воздуха выше 25 °С превысил 30 дней, были сосредоточены в Новосибирской области и Алтайском крае

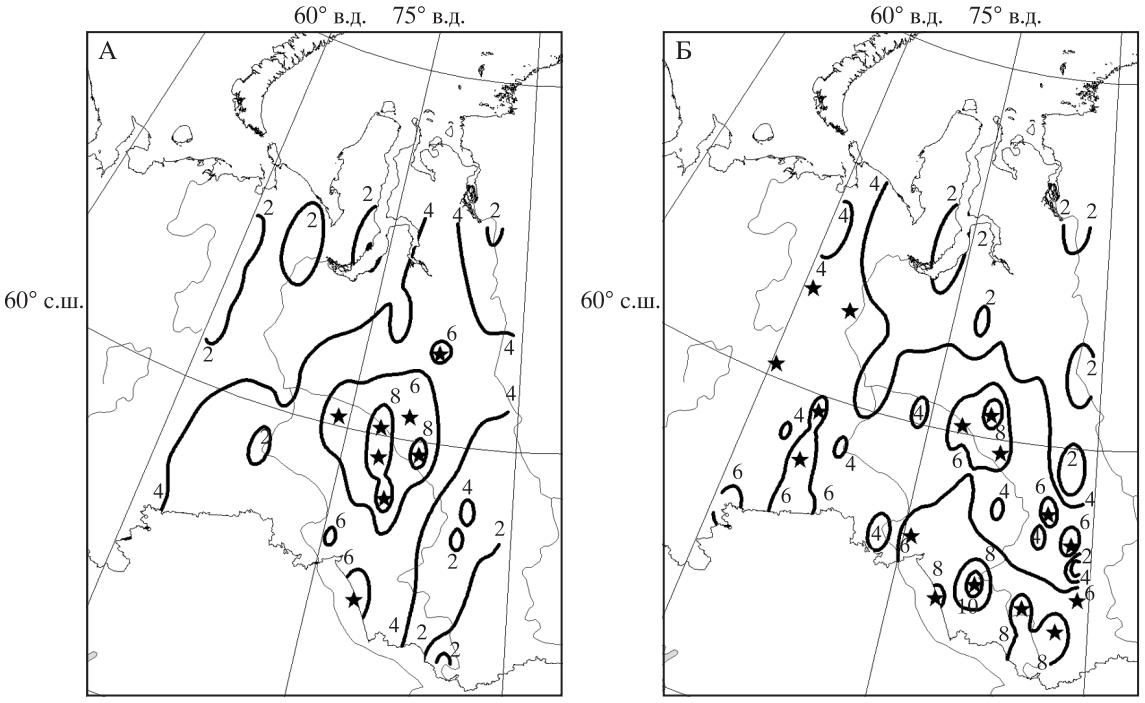

Рис. 2. Изменение числа дней (%) с максимальными суточными температурами воздуха выше 25 °С с июня по август в период: 1981–1996 гг. (А) и 1997–2012 гг. (Б) по сравнению с 1951–1980 гг. Статистически значимые изменения на метеостанциях отмечены звездочками.

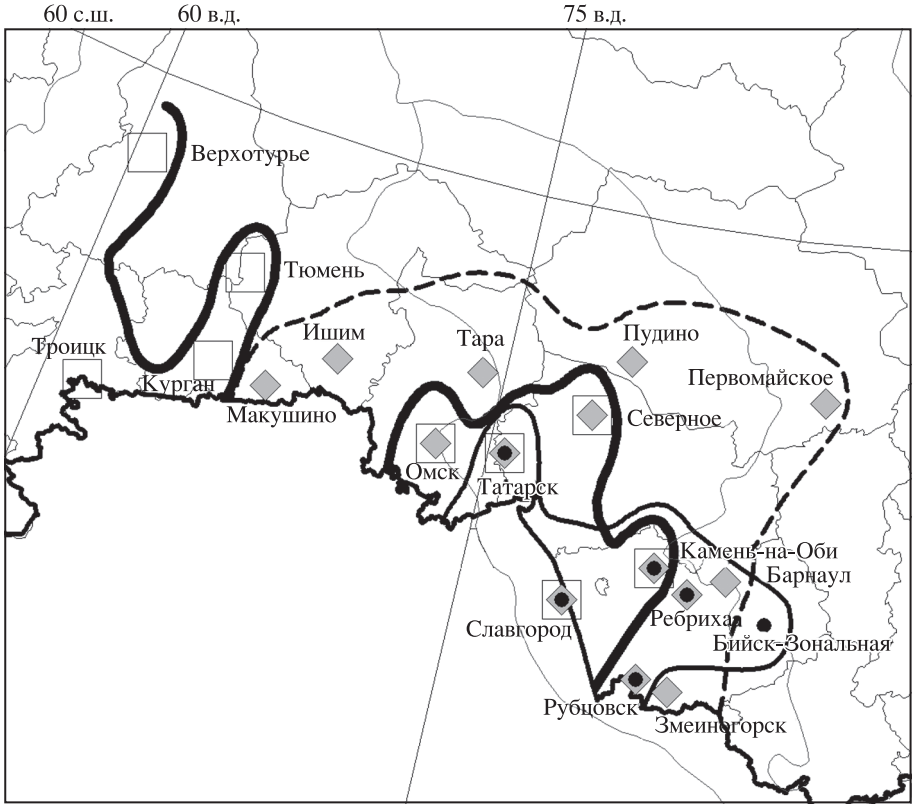

Рис. 3. Граница (условная) территории наблюдения непрерывных периодов с максимальной суточной температурой воздуха выше 25 °С в течение 30 дней и более в периоды 1951–1980 гг. (тонкая черная линия, метеостанции отмечены черными кружками), 1981–1996 гг. (пунктирная линия, метеостанции отмечены серыми ромбами) и 1997–2012 гг. (жирная черная линия, метеостанции отмечены белыми квадратиками).

(рис. 3). В следующий 16-летний период территория наблюдения непрерывных длительных жарких периодов на юге и юго-востоке рассмотренного региона расширилась во всех направлениях до своего максимального охвата, а затем в период 1997–2012 гг. вернулась к прежнему состоянию. Расширение территории наблюдения непрерывных длительных жарких периодов на юго-западе исследуемого региона в период 1997–2012 гг. фактически соответствует ее распространению в аномально жарком 1998 г. Отметим, что если продолжительность непрерывных длительных периодов с максимальной суточной температурой воздуха выше 25 °С на метеостанциях, находящихся на северо-западе Алтайского края, в период 1981–1996 гг. по сравнению с нормой выросла на 1–3 дня, то в период 1997–2012 гг. приращение составило 8–9 дней. Основная причина увеличения продолжительности таких периодов – сочетание роста числа жарких дней и сокращения количества смен дней с эффективными осадками днями без них на указанной территории в период 1997–2012 гг.

Расширение границ области наблюдения непрерывных периодов аномально высоких температур, превышающих 30 дней, очевидно, связано с летним потеплением в исследуемом регионе. Наблюдаемое уменьшение числа смен дней с эффективными осадками днями без них в период с июня по август южнее 60° в. ш. в рассмотренные климатические периоды не превысило два случая в год (статистически незначимо практически на всей территории) и, по-видимому, было очень незначительным, чтобы оказать существенное влияние на способность жарких дней группироваться в длительные непрерывные периоды (рис. 4). С другой стороны, сочетание увеличения числа жарких дней и более существенного снижения числа смен (на 3–4 случая в год) дней с эффективными осадками днями без них в области севернее 60° с.ш. (рис. 2, 4) не привело к возникновению длительных периодов жары в связи с недостаточным для этого ростом температуры.

Летнее потепление в Западной Сибири проявилось и в изменении условий тепло-влагообеспеченности в сезон вегетации в период 1951–2012 гг. (рис. 5). Так опережающий рост среднесуточной температуры воздуха по сравнению с ростом осадков привел к уменьшению увлажнения, статистически значимого на большей части территории Западной Сибири. Быстрый рост температур на северо-востоке территории в период 1981–1996 гг. вызвал наибольшее понижение увлажнения в этом регионе (рис. 5А). С другой стороны, снижение темпов летнего потепления на исследуемой территории сказалось на замедлении падения увлажнения в период 1997–2012 гг. по сравнению с нормой (рис. 5Б).

Полученные результаты указывают на региональные особенности термического режима на исследуемой территории в рассмотренный период, формирование которых связано с влиянием центров действия атмосферы внетропической зоны Северного полушария. На изменчивость летней температуры воздуха на юге Западной Сибири (третий и четвертый районы) в период 1951–2012 гг. оказывали влияние только флуктуации центров действия атмосферы Атлантико-Европейского сектора: их вкладом объясняется почти 51% общей изменчивости летней температуры на юго-западе и почти 50% на юго-востоке территории. При этом наибольшую долю в общую изменчивость летней температуры внесли циркуляционные индексы SCAND и EAWR, отражающие динамику блокирования зонального переноса над Северной Евразией. Отрицательные аномалии индекса EAWR летом в период 1951–2012 гг. связаны с аномально высоким давлением над европейской частью России и западными регионами Западной Сибири. Для индекса SCAND аналогичные аномалии ассоциируются с положительными аномалиями геопотенциала с двумя центрами: над Центральной Сибирью и Западной Европой. При этом в отрицательную фазу индекса EAWR в мае–августе положительные аномалии летней температуры ярче проявляются на западе исследуемой территории (рис. 6А), а в отрицательную фазу индекса SCAND в тот же период – в ее центральной и восточной части (рис. 6Б). Вклад индекса EAWR в изменчивость летней температуры на юго-западе исследуемой территории больше (30.9%), чем на юго-востоке (6.5%). Доля объясненной индексом SCAND общей дисперсии летней температуры на юго-западе Западной Сибири в период 1951–2012 гг. составляет 12.2%, а на юго-востоке территории – 36.2%. Можно сказать, что увеличение числа дней с максимальными суточными температурами воздуха выше 25 °С в период 1997–2012 гг. (наиболее интенсивное на юго-востоке Западной Сибири) связано с увеличением в конце XX – начале XXI века частоты отрицательных аномалий индексов SCAND в мае, EAWR в июне и в июле, а с начала текущего столетия – повторяемости аналогичных аномалий индексов SCAND в июне, EAWR в мае и в августе. Результаты анализа региональных особенностей согласуются с полученными ранее в работе [7] оценками для всей территории Западной Сибири, согласно которым “изменениями циркуляции в 1950 – 2013 гг. объясняется 54% изменчивости температуры (в июне), причем 47% связаны с флуктуациями SCAND”.

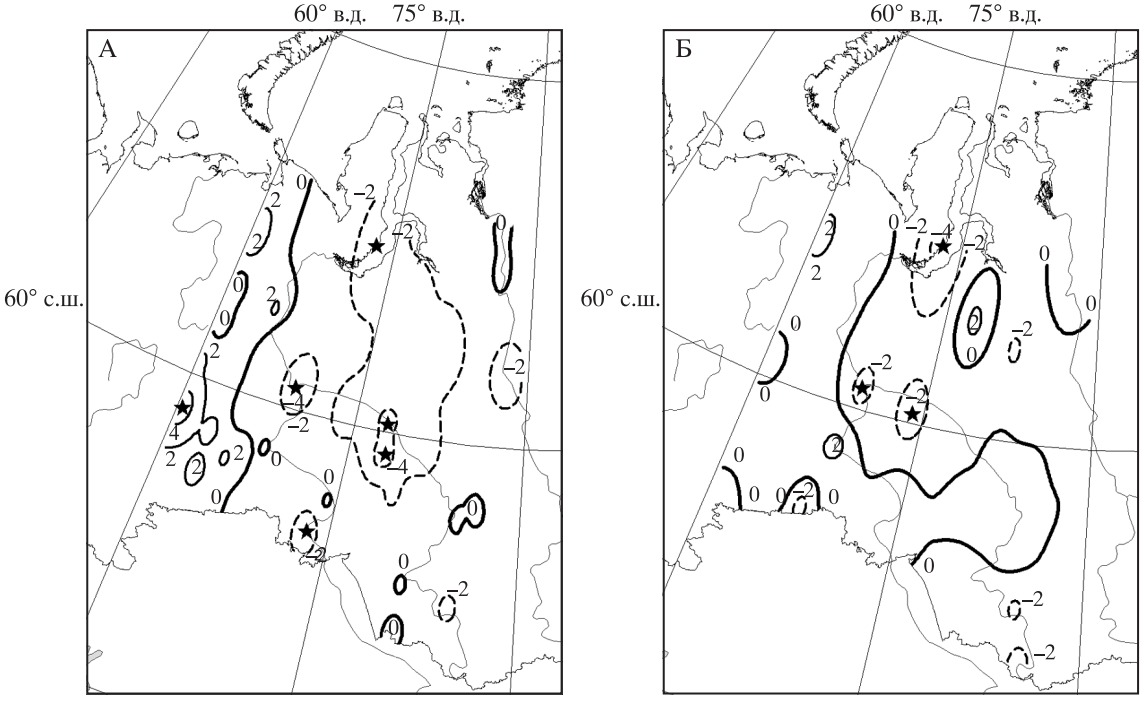

Рис. 4. Изменение числа переходов от дней с эффективными осадками к дням с их отсутствием в период 1981–1996 гг. (А) и 1997–2012 гг. (Б) по сравнению с 1951–1980 гг. Статистически значимые изменения на метеостанциях отмечены звездочками.

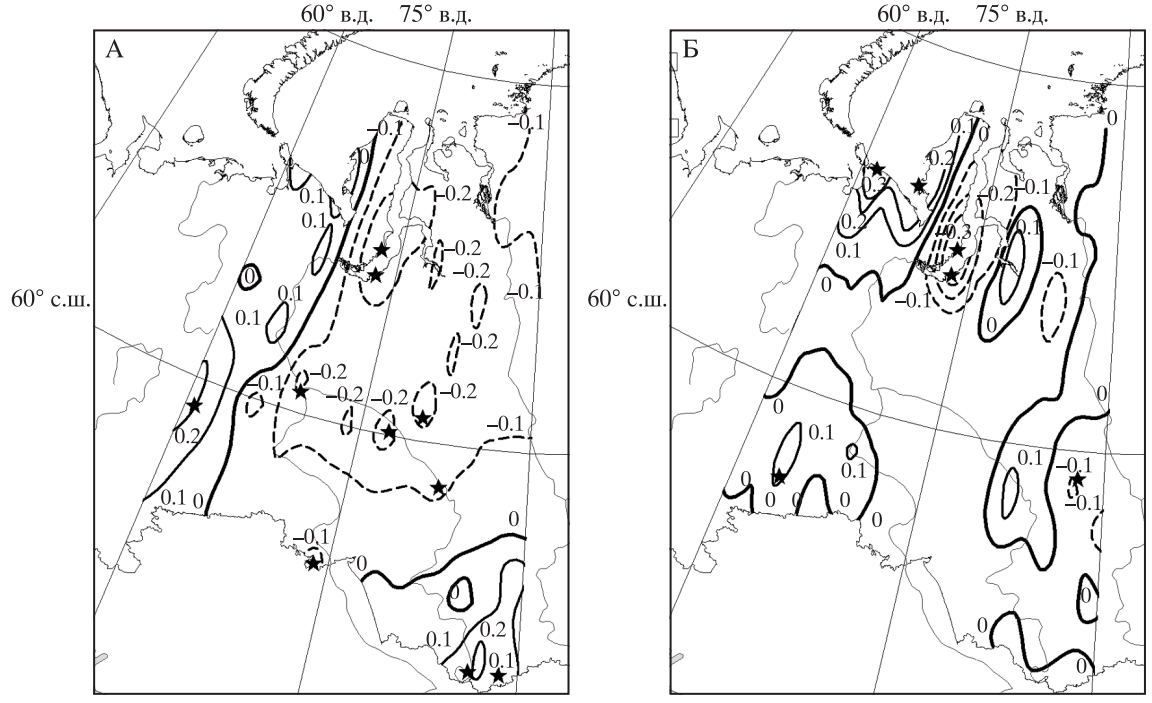

Рис. 5. Изменение ГТК в сезон вегетации в период 1981–1996 гг. (А) и 1997–2012 гг. (Б) по сравнению с 1951–1980 гг. Статистически значимые изменения на метеостанциях отмечены звездочками.

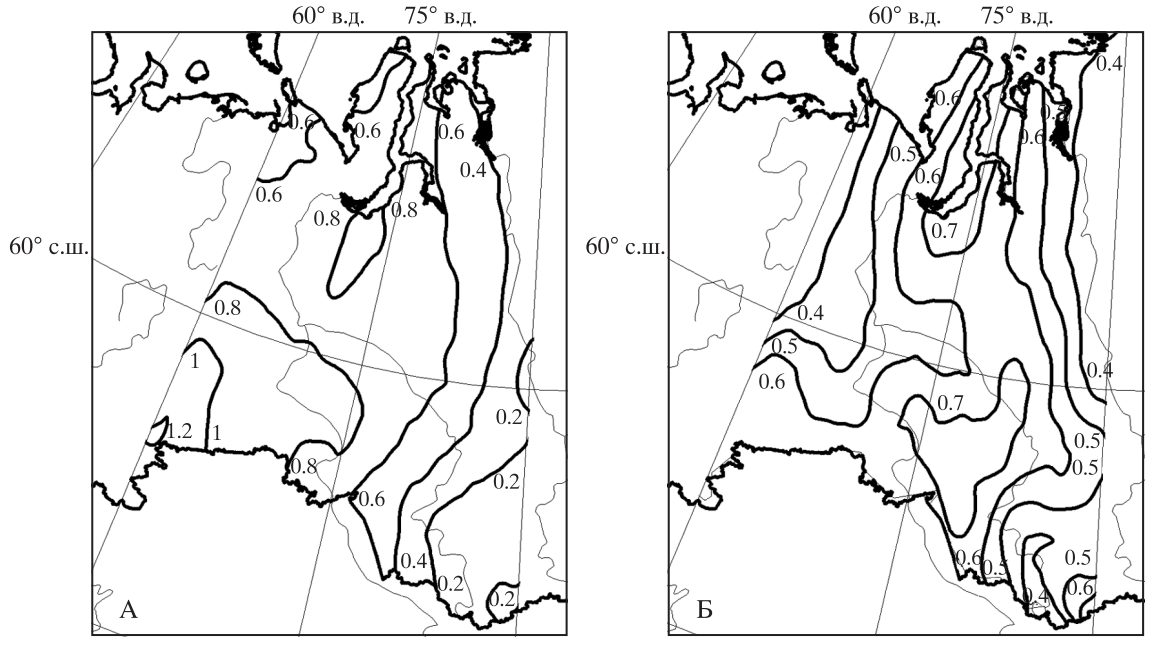

Рис. 6. Пространственное распределение нормированных аномалий температуры воздуха летом в годы отрицательной фазы индекса EAWR в июле (А) и SCAND в мае (Б) в период 1951–2012 гг.

Изменчивость циркуляционных индексов Атлантико-Европейского и Тихоокеанского секторов объясняет почти 55% общей изменчивости летней температуры на северо-западе (первый район) и более 52% на северо-востоке (второй район) территории. Индекс SCAND вносит достаточно весомый вклад в изменения летней температуры в северной части территории, объясняя более 32% общей изменчивости в первом квази-однородном районе и почти 16% – во втором районе. Наблюдаемые в конце XX – начале XXI века отличия в датах смены направленности изменений температуры воздуха в северных и южных регионах Западной Сибири, а также неравномерность скорости этих изменений связаны с различиями во влиянии циркуляционных индексов, отражающих ослабление/усиление зонального переноса. Доля этих индексов в общей объясненной дисперсии в обоих районах квази-однородных изменений температуры воздуха в северной половине территории гораздо более существенна по сравнению с районами на юге Западной Сибири и составляет 22.5% в первом районе, 36.5% – во втором районе.

Таким образом, изменения температуры воздуха в летний сезон в северной половине Западной Сибири в период 1951–2012 гг. происходили под влиянием колебаний атмосферной циркуляции с центрами в Атлантико-Европейском и Тихоокеанском секторе. Наибольшее влияние на изменения летней температуры воздуха на юге Западной Сибири оказали колебания двух региональных центров действия атмосферы с центром над Скандинавией и с центром над европейской частью России.

Заключение. Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. На территории Западной Сибири в период 1951–2012 гг. наблюдалось летнее потепление, статистически значимое на юге Западной Сибири и в районе междуречья Обь–Иртыш. Положительная тенденция роста температуры наиболее ярко проявилась в июне и августе. В период 1997–2012 гг., по сравнению с базовым тридцатилетием второй половины XX в., среднемноголетний рост летней температуры воздуха был статистически значимым на большей части территории (исключая юго-запад). В конце XX – начале XXI века потепление летом начало замедляться, но проявившаяся тенденция нарушилась сильной засухой 2012 г. В настоящее время сохраняется неопределенность, связанная с возможной сменой направленности изменений летней температуры и формированием устойчивой тенденции замедления потепления.

2. В результате пространственно неоднородного летнего потепления в Западной Сибири, начавшегося в 70-х годах XX в., возросло число жарких дней (в среднем не превысившее 5% от нормы). Северная граница территории наблюдения длительных (более месяца) аномально жарких периодов в период 1951–2012 гг. была ограничена 58° с.ш. На юге и юго-востоке исследуемого ре-

гиона эта территория в период 1981–1996 гг. расширилась во всех направлениях до максимального охвата за весь исследуемый период, а затем в период 1997–2012 гг. вернулась к прежнему состоянию. Несмотря на некоторое снижение скорости летнего потепления на юго-востоке Западной Сибири в конце XX – начале XXI века, можно считать, что северо-западная часть Алтайского края, где находятся важные зернопроизводящие районы, по-прежнему подвержена наибольшему риску возникновения опасных явлений, связанных с установлением периодов с длительной аномально жаркой погодой.

3. Соотношение ресурсов тепла и влаги в сезон активной вегетации на большей части территории Западной Сибири изменилось в сторону уменьшения увлажнения в период 1981–2012 гг. по сравнению с предшествующим тридцатилетием, благодаря опережающему росту температуры по сравнению с ростом осадков. В период 1997–2012 гг. темпы снижения увлажнения понизились из-за наблюдаемого замедления летнего потепления.

4. Региональные особенности изменения летней температуры воздуха на территории Западной Сибири обусловлены различиями во влиянии центров действия атмосферы внетропической зоны Северного полушария. С помощью статистической модели с использованием метода линейной множественной регрессии установлено, что колебаниями атмосферной циркуляции объясняется только половина всей изменчивости летней температуры воздуха в каждом выделенном квази-однородном районе Западной Сибири в период 1951–2012 гг. Существенный вклад в колебания летней температуры на севере территории вносят циркуляционные режимы, отражающие ослабление/усиление зонального переноса. На изменчивость летней температуры на юге Западной Сибири наибольшее влияние оказывают колебания двух региональных центров действия атмосферы с центром над Скандинавией и с центром над европейской частью России, чья активизация ассоциируется с увеличением частоты блокирующих событий над исследуемой территорией и положительных температурных аномалий.

Благодарность. Исследование проведено при поддержке РФФИ (проект №13-05-41058 “Современное потепление летнего сезона в России: циркуляционные механизмы, региональные проявления и последствия для окружающей среды”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
2. *Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Поднебесных Н.В., Харюткина Е.В.* Влияние атмосферной циркуляции на температурный режим Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 1. С. 15–21.
3. *Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А.* Тенденции увлажнения зернового пояса России в начале XXI века // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Т. XXV. С. 251–264.
4. *Крыжов В.Н.* Связь средней месячной, сезонной и годовой температуры воздуха на севере России с индексами зональной циркуляции зимой // Метеорология и гидрология. 2003. № 2. С. 15–28.
5. *Попова В.В., Шмакин А.Б.* Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в Северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 2. С. 161–175.
6. *Попова В.В.* Летнее потепление на европейской территории России и экстремальная жара 2010 г. как проявление тенденций крупномасштабной атмосферной циркуляции в конце XX в. – начале XXI в. // Метеорология и гидрология. 2014. № 3. С. 37–49.
7. *Попова В.В., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б., Ширяева А.В.* Экстремальная жара и засуха 2010 и 2012 гг. на территории России как проявление современного глобального потепления // Сб. тез. докладов конф. “Состояние и перспективы развития информационных технологий в гидрометеорологии. Информационное обеспечение морской деятельности”. Обнинск: ФГБУ “ВНИИГМИ-МЦД”, 2014. С. 90–91.
8. *Селянинов Г.Т.* О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165–177.
9. *Barnston A.G. and Livezey R.E.* Classification, seasonality and persistence of low – frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. 1987. Vol. 115. P. 1083–1126.
10. IPCC, Climate Change: 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)). IPCC. Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
11. *Meehl G.A., Arblaster J.M., Fasullo J.T., Hu A., and Trenberth K.E.* Model-based evidence of deep-ocean heat uptake during surface-temperature hiatus

periods // Nature Climate Change. 2011. Vol. 1. P. 360–364.

12. *Romesburg C.H.* Cluster Analysis for Researchers. Life Time Learning, 1984. 334 p.
13. *Santer B.D., Bonfils C., Painter J.F., Zelinka M.D., Mears C., Solomon S., Schmidt G.A., Fyfe J.C., Cole J.N.S., Nazarenko L., Taylor K.E., and Wentz F.J.* Volcanic contribution to decadal changes in tropospheric temperature // Nature Geosci. 2014. Vol. 7. No. 3. P. 185–189.
14. *Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., and Midgley P.M.* Technical Summary // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Press, United Kingdom and New York, N.Y., USA, 2013. P. 37–39.
15. *Szekely G.J. and Rizzo M.L.* Hierarchical clustering via Joint Between-Within Distances: Extending Ward's Minimum Variance Method // J. Classif. 2005. Vol. 22. P. 151–183.
16. *Tollefson J.* The case of the missing heat // Nature. 2014. Vol. 505. P. 276–278.

Regional Peculiarities of Summer Temperature Change in Western Siberia in the Second Half of 20th – Early 21st Centuries

E.A. Cherenkova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: lcherenkova@marketresearch.ru

In the paper the spatial and temporal changes of summer temperatures in Western Siberia during the period of 1951–2012 were investigated using observations data on weather stations. It was shown that the spatially inhomogeneous summer warming was observed in the study region. Warming rates declined at the end of 20th – beginning of 21st centuries. The uncertainty associates with a possible change of direction of change in summer temperatures and the formation of a stable trend of warming slowdown.

It was revealed that despite the slowdown in warming, the northwestern part of the Altai krai is the most vulnerable area of increased risk of hazardous hydrometeorological events associated with the long periods of abnormally hot weather in summer.

Variations of atmospheric circulation indices associated with the weakening/strengthening of zonal transport significantly contribute to the fluctuations in summer temperatures in the north of Western Siberia. The main surface temperature anomalies in summer in the south of Western Siberia are linked to the Eastern Atlantic-Western Russia (EAWR) pattern and Scandinavia pattern. The negative phase of the EAWR and Scand indices reflects major blocking anticyclones and above-average temperatures in Western Siberia.

Keywords: air temperature, anomalies, climate change, atmospheric circulation of the Northern Hemisphere, Western Siberia.

doi:10.15356/0373-2444-2016-4-52-61