

## ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ

*Е.В. Харюткина, С.В. Логинов, Е.И. Усова, Ю.В. Мартынова,  
К.Н. Пустовалов*

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
Российская Федерация, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; [kh\\_ev@mail2000.ru](mailto:kh_ev@mail2000.ru)

**Реферат.** В данной работе за временной интервал 1976-2016 гг. проведен анализ межгодовой изменчивости среднесезонных значений температуры воздуха, скорости ветра, количества атмосферных осадков и их экстремумов для Западной Сибири отдельно для севера и юга территории, а также для Томской области. Исследование проводилось по данным наблюдений на метеорологических станциях (NOAA и ВНИИГМИ-МЦД). Кроме того, привлекался реанализ ERA Interim.

По данным инструментальных наблюдений установлено, что в начале XXI века в весенне-летний период потепление наблюдалось на всей территории Западной Сибири, а зимой на юге региона (в том числе и в Томской области) отчетливо проявляется похолодание, тогда как в северной его части температура стабильно росла. Временной ход среднегодовых величин количества осадков подобен ходу температуры воздуха, а скорость ветра уменьшалась во все сезоны.

Анализ временного хода экстремальных оценок температуры воздуха также показал, что на юге Западной Сибири в зимние месяцы наблюдается похолодание. Кроме того, зимой происходило увеличение положительных экстремальных значений количества осадков и скорости приземного ветра. Летом, напротив, появляется вероятность возникновения засушливых периодов, поскольку наблюдается рост величины отрицательных экстремальных значений количества осадков. Эта тенденция особенно выражена на юге Западной Сибири, а также в Томской области.

Сравнение среднесезонных оценок температуры и количества осадков по данным наблюдений и реанализа показало высокую степень их подобия. При этом наименьшее сходство характерно для оценок скорости ветра, особенно на севере Западной Сибири.

Получено, что в начале XXI века в Западной Сибири увеличивается экстремальность климата, которая характеризуется как ростом числа дней с опасным явлением, так и усилением экстремумов исследуемых климатических величин. Это создает предпосылки для перехода экстремальных климатических событий в разряд опасных метеорологических явлений.

**Ключевые слова.** Температура воздуха, скорость ветра, количество осадков, экстремальные значения, данные наблюдений, реанализ, Западная Сибирь, Томская область.

## Введение

Наблюдающиеся глобальные изменения климата приводят к росту количества и частоты появления неблагоприятных и опасных погодных явлений, таких как волны жары и холода, сильные дожди и снегопады, шквалистые ветры, наводнения и засухи и др., и, как следствие, к росту наносимого ими экономического ущерба (Parmesan, 2006; Переведенцев и др., 2012; Sillmann et al., 2014). Потепление климата может являться причиной уменьшения статической устойчивости атмосферы и интенсификации конвективных процессов (Мохов, Акперов, 2006). Так, во второй половине XX – начале XXI вв. отмечена тенденция к увеличению доли конвективной облачности (в том числе кучево-дождевых облаков) в Северной Евразии (Chernokulsky et al., 2011). Сохранение подобной тенденции приведёт к дальнейшему увеличению повторяемости опасных метеорологических явлений (ОМЯ) конвективного происхождения (грозы, града, интенсивных ливней, шквалов и др.), причиняющих значительный ущерб различного характера. В России число опасных явлений увеличивается ежегодно на 7% (Стратегический прогноз изменений климата РФ ..., 2005). Наиболее часто повторяющиеся опасные явления за период 1996-2012 гг. связаны с ветрами штормовой и ураганной силы (24.5% всех ОМЯ) (Евсеева, Ромашова, 2011; Неровных и др., 2015).

Распределение ОМЯ по территории России в значительной степени зависит от рельефа и степени близости к крупным водным акваториям (Панфутова, 2008). Из всех федеральных округов наибольшее число опасных явлений в последние годы наблюдается в Сибирском федеральном округе (Доклад об особенностях климата ..., 2018). Географическое положение, равнинность и заболоченность территории Западной Сибири создают предпосылки для проникновения воздушных масс как с юга, так и с севера. С запада территория Сибири ограничена Уральскими горами, а восточная ее часть в холодную половину года подвержена влиянию западного отрога Сибирского антициклона. Все это создает условия для обострения барических градиентов, приводя к усилению адвективного переноса и возникновению конвективной неустойчивости в атмосфере. Именно явления конвективного происхождения – сильные ветры и ливни – наносят наибольший ущерб на юге региона (Евсеева, Ромашова, 2011; Пустовалов и др., 2017). В частности, для территории Томской области, находящейся на юго-востоке Западной Сибири, около 70-85% всех ОМЯ приходится на вегетационный период года (апрель-октябрь).

На территории Западной Сибири за период 1985-2009 гг. число опасных явлений, связанных с сильным ветром, составило 87% от общего числа ОМЯ (Лучицкая, Белая, 2011). Наиболее частыми и продолжительными бывают сильные ветры в долине р. Оби и южных районах Томской области (Слуцкий, Новикова, 1976; Евсеева, Ромашова, 2011). Шквалы чаще всего отмечаются на юго-востоке региона в мае и июле, во второй половине дня, при южном и юго-западном направлении ветра (Ананова, 2011). При этом на юге Западной Сибири, согласно результатам, опубликованным в 2017 году (Шарапова и др., 2017), в последние годы значительно возрос риск сильных и продолжитель-

---

ных осадков. Так, например, за период 1967-2010 гг. в г. Томск в виде ливней выпало 37-46% осадков от общего их количества за лето (Ромашова, 2004; Евсеева, Ромашова, 2011). Для территории Западной Сибири, в целом, и Томской области, в частности, проводились исследования ряда параметров, связанных с возникновением таких опасных конвективных явлений, как гроза, град, шквал и смерч (Дульзон, Горбатенко, 2006; Ананова, 2011; Горбатенко, Константинова, 2009; Ершова, 2016).

Явления конвективного происхождения не всегда фиксируются наблюдателями, что может быть связано с недостаточной частотой сети аэрологических станций (Ершова и др., 2012). Например, развитие конвекции над Томской областью можно прогнозировать только по результатам температурно-ветрового зондирования двух станций – Новосибирск и Колпашево, расстояние между которыми более 360 км. Термодинамические параметры атмосферы в районе аэрологического зондирования могут существенно отличаться от тех, что характерны для атмосферы в районе наблюдения ОМЯ.

Другими ОМЯ, которые не связаны с конвекцией, являются периоды аномально холодной и тёплой погоды. Температурные аномалии в тёплый период возникают преимущественно при антициклонической циркуляции, либо при формировании малоградиентной области пониженного давления (Волкова и др., 2013). Так, в 2012 году в Томской области отмечалось самое жаркое и сухое лето за последние 60 лет (Поляков и др., 2014). Однако для этого региона в большей степени характерны волны холода, чем жары, при этом наиболее уязвимыми являются северная и северо-восточная части территории (Волкова и др., 2013; Ульянов, 2015).

Общепринятой методикой анализа ОМЯ является оценка рисков, создаваемых этими явлениями, под которыми понимаются статистические вероятности наступления опасных явлений погоды (Гидрометеорологические риски, 2008; Волкова и др., 2013). Также используют понятие риска как функции частоты и последствий нежелательного события (Кобышева и др., 2008).

Знание закономерностей и частоты возникновения опасных явлений особенно важно для крупных населенных пунктов и для территорий с активной производственной деятельностью. Так, расположение на территории Томской области одного из крупнейших в России месторождения железной руды – Бакcharского – может создавать условия для возникновения некоторых ОМЯ (Евсеева, 2001).

Целью исследования является оценка временной изменчивости экстремальных значений основных климатических величин на территории Западной Сибири, отдельно для севера и юга региона, а также в Томской области, в конце XX и начале XXI веков.

## Материалы и методы

Исследования проводились для территории Западной Сибири для периода 1976-2016 гг. В расчетах были использованы срочные (суточные) и среднемесячные значения климатических величин (температура воздуха, скорость ветра, атмосферные осадки), измеренные на метеорологических станциях

(центр распределения данных NOAA, <ftp://ftp.cdc.noaa.gov/pub/data/g sod/>; ресурс ВНИИГМИ-МЦД, <http://meteo.ru/data>). Для каждой станции по рассчитанным среднемесячным величинам были вычислены робастные статистики: медианные значения и тренды. Для устранения влияния пространственной неоднородности месторасположения метеорологических станций проводилась пространственная интерполяция рассчитанных среднемесячных и среднегодовых значений величин и их трендов на сетку  $1^\circ \times 1^\circ$  по алгоритму кригинга (Cressie, 1990). В качестве статистики для параметра сдвига использовалась медиана выборочной функции распределения вероятности (ВФРВ). Погрешность пространственной интерполяции оценивалась с помощью процедуры кроссвалидации (перекрестной проверки данных) (Grimm, Lynch, 1991). Полученные оценки сопоставлялись с оценками, рассчитанными по данным реанализа ERA-Interim (<http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>). Использование данных реанализа обусловлено достаточным охватом изучаемой территории и отсутствием пропусков во временных рядах климатических величин. Поскольку данные ERA-Interim достоверно описывают изменения температуры воздуха на территории России (Кокорев, Шерстюков, 2015; Колмакова и др., 2012), именно этот реанализ был выбран для получения оценок изменчивости количества осадков и скорости ветра в регионе Западной Сибири. Величина связи между переменными определялась по значениям коэффициента корреляции. Коэффициенты линейного тренда выборок определялись с помощью робастных методов, в том числе метода квантильной регрессии (Barbosa et al., 2011), а их значимость оценивалась по критерию Стьюдента. При визуализации полученных рядов для выделения долгопериодной составляющей использовалось сглаживание данных фильтром низких частот (ФНЧ) с точкой отсечения 10 лет.

Для выявления случаев экстремальных событий использовались два подхода. В одном из них применялся критерий, при котором собирались случаи превышения величиной заданного порогового значения. Так, для выявления случаев с экстремальной температурой задавались уровни (в  $^\circ\text{C}$ )  $\{-30, 30\}$ . В рамках указанных задач статьи, под «случаем экстремальных событий» понималось число дней, в которые наблюдалось данное опасное явление. Полученные значения усреднялись по количеству станций (или узлов реанализа), приходящихся на район исследования. В другом подходе экстремальные значения климатических величин определялись по пороговым квантилям (5% и 95%) ВФРВ, построенной по сезонам для конкретного региона. Рассчитанные таким образом оценки частоты экстремальных событий позволяют выявить их временную изменчивость.

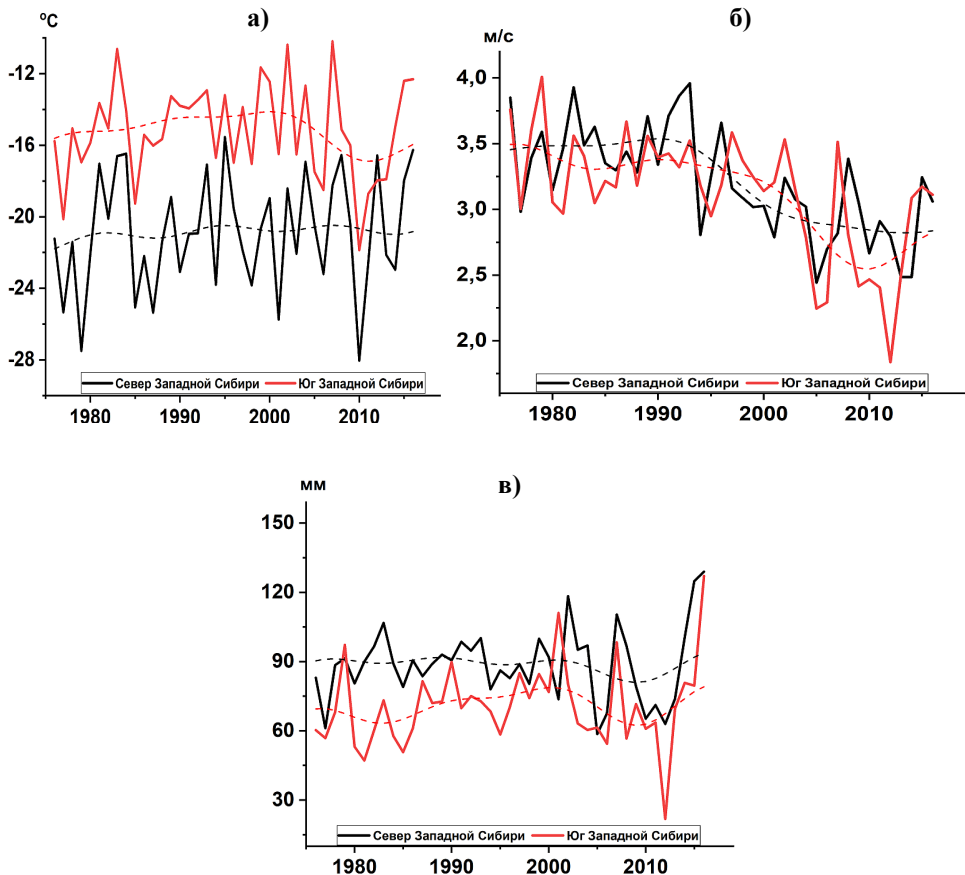
## Результаты

### *Временная изменчивость климатических величин по данным наблюдений*

По данным наблюдений для территории Западной Сибири (ЗС) выполнен анализ временной изменчивости температуры воздуха, скорости ветра и коли-

чества осадков. Указанная территория была выбрана в качестве большого региона, на фоне которого исследуются климатические изменения и в Томской области (ТО) (Ипполитов и др., 2008). Полученные результаты продолжают и дополняют результаты исследования климатических изменений для территории ЗС, полученные ранее (Харюткина и др., 2016).

В целом, было получено, что в период 1999-2015 гг. на юге Западной Сибири потепление сменилось похолоданием в зимнее время, тогда как на севере территории изменения незначимы. Построенный по данным наблюдений временной ход температуры воздуха для северной и южной частей ЗС (СЗС и ЮЗС, соответственно) подтверждает эту тенденцию. Нарушение стабильного роста температуры в начале XXI века обусловлено также экстремально холодной зимой в 2009-2010 гг., которая отмечалась на всей территории ЗС (рис. 1а). Однако, начиная с 2013 года, вновь появляется тенденция к увеличению температуры. В остальные сезоны потепление происходит повсеместно по всей территории до начала XXI века, затем наблюдается замедление его темпов.



**Рисунок 1.** Межгодовая изменчивость температуры воздуха (а), скорости ветра (б) и количества осадков (в) зимой на севере и юге Западной Сибири  
 Пунктир – кривая, сглаженная с использованием ФНЧ

Необходимо отметить, что существенных различий между средними величинами и их временным ходом между ЮЗС и ТО не обнаружено. Поэтому на рис. 1 временной ход величин для ТО не представлен.

Что касается других метеовеличин, то установлено, что средние оценки скорости ветра и количества осадков, полученные для ЗС и СЗС, превышают соответствующие оценки, полученные для ЮЗС и ТО. При этом максимум этих величин отмечается на севере ЗС.

В исследуемый период происходит уменьшение скорости ветра во все сезоны года (рис. 16). При этом наименьшие скорости ветра наблюдаются в начале XXI века в летний сезон, а наибольшие – в весенний (табл. 1).

Межгодовая изменчивость количества осадков подобна изменению температуры воздуха: до 2002 года зимой наблюдается увеличение количества осадков, затем уменьшение и дальнейший рост в последние несколько лет (рис. 1в). Летом изменения статистически незначимы, а в переходные сезоны количество осадков увеличивается в начале XXI века. При этом максимальное количество осадков (табл. 1) наблюдается в весенне-летний период, а минимальное – в зимний.

**Таблица 1.** Среднесезонные оценки метеорологических величин на севере и юге Западной Сибири в конце XX – начале XXI веков по данным наблюдений

Температура воздуха (Т), °С				
Сезон	Север Западной Сибири		Юг Западной Сибири	
	1979-1998	1999-2016	1979-1998	1999-2016
Зима	-20.6	-20.5	-14.8	-15.2
Весна	-5.6	-4.1	2.2	3.4
Лето	12.9	14.0	17.6	17.7
Осень	-4.0	-2.9	1.5	2.2
Год	-4.3	-3.4	1.6	2.0
Скорость ветра (V), м/с				
Зима	3.5	2.9	3.3	2.8
Весна	3.7	3.3	3.3	3.2
Лето	3.2	2.9	2.6	2.4
Осень	3.5	3.0	3.2	2.8
Год	3.5	3.0	3.1	2.8
Осадки (R), мм				
Зима	89.4	89.6	68.1	73.7
Весна	96.2	107.7	83.6	99.5
Лето	190.6	204.7	185.6	192.1
Осень	151.3	161.4	121.7	122.0
Год	131.9	139.5	114.7	122.0
Сумма за год	527.4	561.2	459.0	483.8

Зимой максимальные и статистически значимые изменения скорости ветра наблюдаются в интервале 1999-2012 гг. (рис. 16), при этом тенденция этих изменений отрицательная (-0.9 м/с за 10 лет при  $\sigma = 0.3$  м/с за 10 лет). Стоит

отметить, что для величин температуры воздуха и количества осадков статистически значимые тренды приходятся также на зимний сезон в ЮЗС. Так оценки трендов за 10 лет составили  $-1.8^{\circ}\text{C}$  при  $\sigma = 0.3^{\circ}\text{C}$  и  $-27.0$  мм при  $\sigma = 12.4$  мм, соответственно.

Таким образом, во все сезоны года в конце XX века на территории ЗС, в целом, и ТО, в частности, наблюдается увеличение температуры воздуха. В начале XXI века зимой эта тенденция отмечается лишь в последние несколько лет, сменяя тенденцию к похолоданию, наблюдавшуюся после 2000 года. Причем на СЗС и ЮЗС происходят разнонаправленные изменения: на СЗС среднесезонные оценки температуры выше во второй временной интервал, а на ЮЗС – в первый. Весной и летом температура продолжает расти, а осенью после 2006 года положительная тенденция сменяется на отрицательную. Характер межгодовой изменчивости количества осадков подобен изменению температуры воздуха. Средняя скорость ветра уменьшается в течение исследуемого интервала времени во все сезоны года.

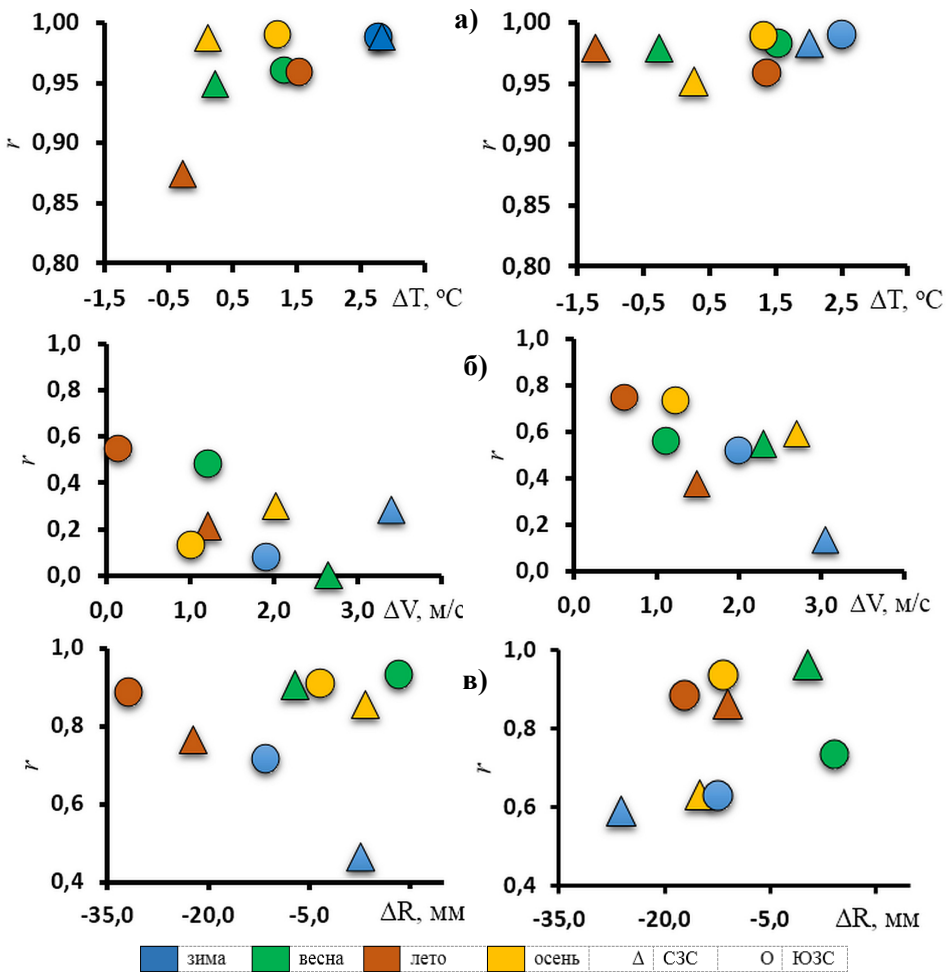
### ***Сравнение данных метеорологических станций и данных реанализа***

Метеостанции на территории ЗС расположены неравномерно, при этом значительная их часть находится в ЮЗС. Интерполяция таких данных на большой регион может внести большие погрешности в полученный результат. Поэтому для того, чтобы получить корректные оценки частоты экстремальных событий на исследуемой территории, целесообразно воспользоваться данными реанализа, поскольку они представлены в узлах регулярной сетки.

Предварительно было проведено сравнение данных наблюдений и данных реанализа Era Interim. Для двух интервалов времени сравнивались оценки временного хода, усредненных по территории среднесезонных величин: температура воздуха ( $T$ ), скорость ветра ( $V=|v|$ ) и количество осадков ( $R$ ) (рис. 2).

На рис. 2 по оси абсцисс отложены разность средних величин ( $\Delta X = X_{\text{observation}} - X_{\text{reanalysis}}$ ), а по оси ординат – коэффициент линейной корреляции ( $r = \delta X_{\text{observation}} \cdot \delta X_{\text{reanalysis}}$ , где  $\delta X$  – обозначает нормализованную величину  $X$  – нулевое среднее и единичное среднеквадратическое отклонение). Форма маркера определяет регион исследования, а его цвет – сезон. Из анализа рис. 2 следует, что наибольший уровень связи ( $r > 0.85$ ) наблюдается для  $T$ , а наименьший ( $r = 0 \div 0.75$ ) – для  $V$ , особенно выраженной на ЮЗС. Для количества осадков величина  $r$  преимущественно превышает 0.6. При этом для  $R$  проявляется систематическое превышение значений реанализа над данными измерений во все сезоны, а систематически заниженные значения реанализа для  $T$  и  $V$  наблюдаются зимой и летом. С начала XXI века корреляция между данными увеличилась, особенно для  $V$ .

Таким образом, высокие значения коэффициента корреляции ( $r > 0.7$ ) позволяют говорить о том, что использование сезонных оценок температуры и количества осадков, рассчитанных по данным реанализа, допустимо. С большой осторожностью следует относиться к оценкам, полученным для скорости ветра, особенно в СЗС.



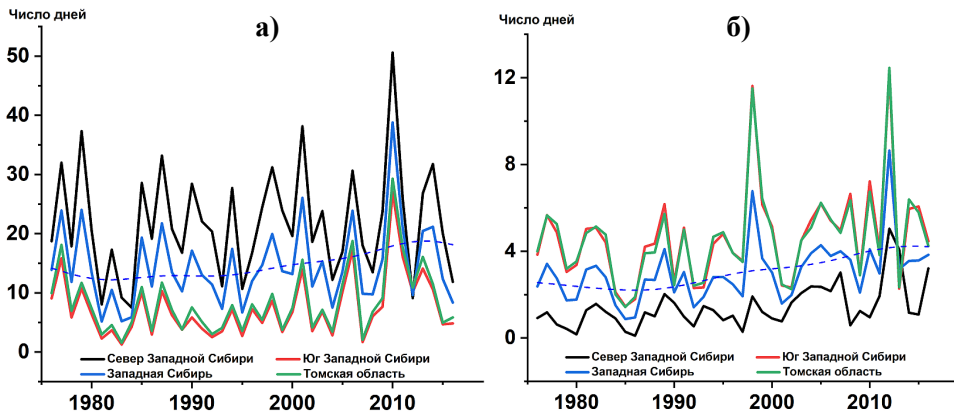
**Рисунок 2.** Диаграммы статистического подоби́я данных наблюдений и реанализа для Западной Сибири для сезонных оценок: а) температуры воздуха, б) скорости ветра и в) количества осадков  
*Слева – 1979-1998 гг., справа – 1999-2016 гг.*

### ***Временная изменчивость экстремальных значений климатических величин***

Анализ межгодового хода количества экстремальных событий по данным наблюдений показал, что за период 1979-2016 гг. наблюдается рост количества дней с низкими зимними температурами ( $T < -30^{\circ}\text{C}$ ) для всей территории ЗС, в целом (рис. 3а). Наиболее часто понижение температуры воздуха до  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже отмечается на СЗС (до 50 дней в 2010 году), а наименее часто – в ТО (до 12 дней в 2010 году). Кроме роста числа дней с низкими температурами, наблюдается увеличение вероятности возникновения высоких летних температур ( $T > 30^{\circ}\text{C}$ ). Наибольший рост (рис. 3б) отмечается в Томской области (до 12 дней в 2012 году), а наименьший – на ЮЗС (до 5 дней в 2012 г.).

Таким образом, на протяжении периода 1979-2016 гг. наблюдается увеличение числа дней с экстремально холодными зимами и с экстремально жарким летом.





**Рисунок 3.** Количество дней с экстремально низкими температурами зимой ( $T < -30^{\circ}\text{C}$ ) (а) и экстремально высокими летом ( $T > 30^{\circ}\text{C}$ ) (б) для Западной Сибири  
 Пунктир – кривая, сглаженная с использованием ФНЧ

Основываясь на подходе определения экстремально низких и высоких значений климатических величин по пороговым квантилям ВФРВ ( $p < 0.05$  и  $p > 0.95$ , соответственно) и с использованием данных реанализа, были рассчитаны оценки и проведен анализ экстремумов для районов ЗС для периода 1979-2016 гг. Рассмотрены только те экстремальные значения, которые связаны с опасными явлениями, характерными для ЗС: экстремально высокие и низкие температуры воздуха, экстремально высокие скорости ветра и экстремально высокие и низкие значения количества осадков.

Получено, что зимой как на территории ЗС в целом, так и СЗС и ЮЗС (табл. 2, рис. 4), наблюдается увеличение экстремально низких температур в конце XX века и уменьшение в начале XXI века. В остальные сезоны года в начале XXI века в этом районе, наоборот, прослеживается тенденция к их увеличению.

Что касается экстремально высоких значений температуры, то на СЗС за 1999-2016 гг. зимой происходит их уменьшение, а весной – небольшой рост (табл. 3). На ЮЗС временной ход экстремальных значений более сглаженный, и тенденция к росту положительных экстремумов не так очевидна, наблюдается, скорее, усиление отрицательных.

В межгодовой динамике экстремальных значений количества выпадающих осадков в начале XXI века как в СЗС, так и в ЮЗС, можно выделить тенденцию к увеличению экстремумов разного знака весной, и к уменьшению экстремально низких значений осенью (табл. 2).

Стоит отметить также, что, хотя, тенденции положительных экстремумов количества осадков статистически незначимы, зимой (рис. 4е) и весной отчетливо выделяются 2013 год и 2015 год, когда происходило резкое увеличение этой величины. Это, возможно, связано с ростом интенсивности снегопадов в эти годы (Доклад об особенностях климата ..., 2018).

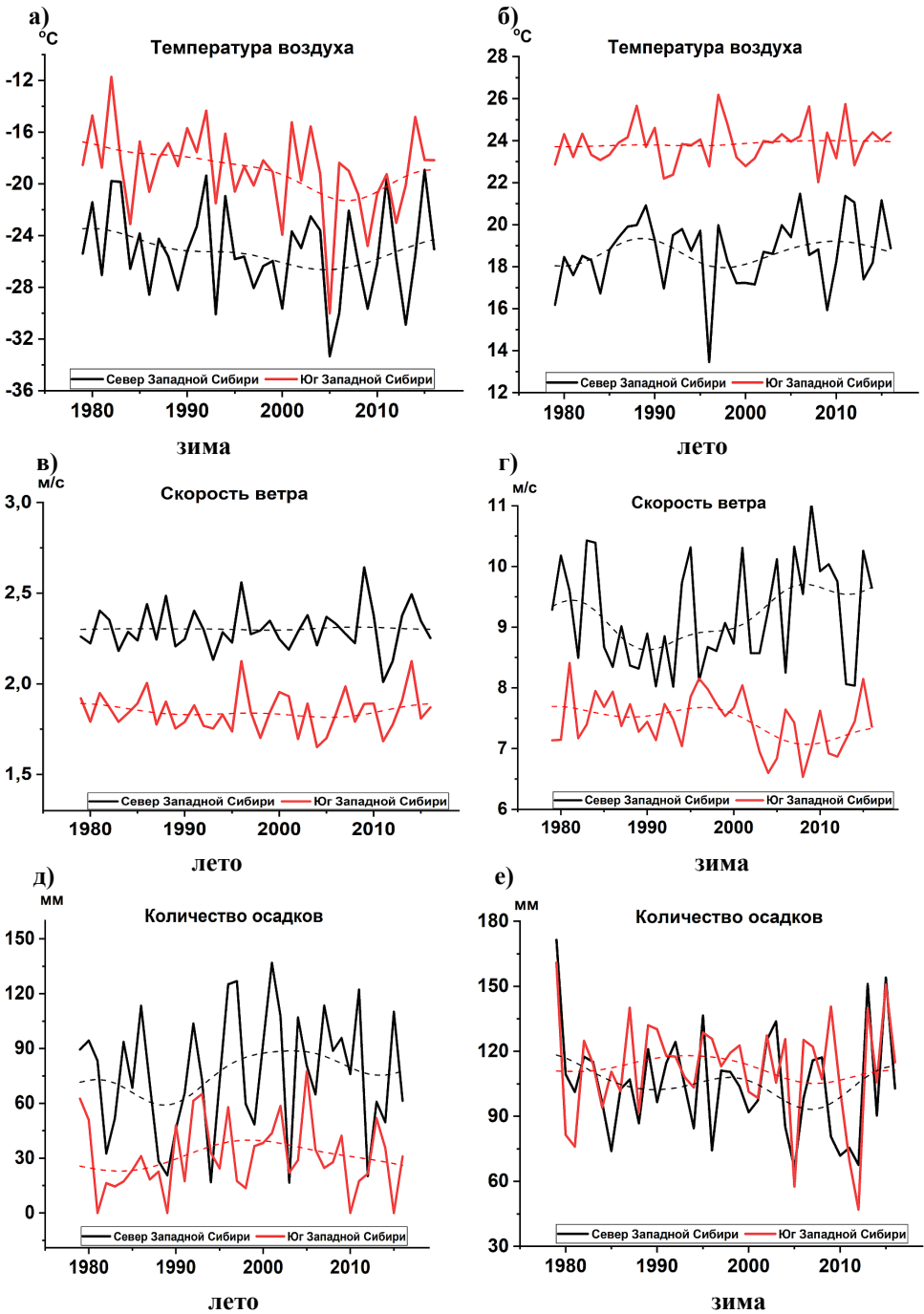
В то же время летом с начала столетия характерно увеличение отрицательных экстремумов осадков (рис. 4д), что говорит о вероятности возникновения засушливых периодов.

**Таблица 2.** Среднесезонные оценки экстремально низких значений метеорологических величин ( $p < 0.05$ ) на севере и юге Западной Сибири в конце XX – начале XXI веков по данным реанализа Era Interim

<b>Температура воздуха (Т), °С</b>				
<b>Сезон</b>	<b>Север Западной Сибири</b>		<b>Юг Западной Сибири</b>	
	<b>1979-1998</b>	<b>1999-2016</b>	<b>1979-1998</b>	<b>1999-2016</b>
Зима	-24.7	-25.8	-17.9	-20.0
Весна	-16.6	-15.0	-7.4	-5.6
Лето	5.3	7.3	14.2	15.1
Осень	-16.6	-15.6	-9.6	-7.9
Год	-13.2	-12.3	-5.2	-4.6
<b>Скорость ветра (V), м/с</b>				
Зима	3.3	3.3	2.4	2.4
Весна	3.1	3.1	2.4	2.5
Лето	2.3	2.3	1.8	1.9
Осень	3.1	3.0	2.3	2.3
Год	2.9	2.9	2.2	2.3
<b>Осадки (R), мм</b>				
Зима	60.1	51.2	20.9	14.8
Весна	45.6	57.0	14.4	19.4
Лето	70.8	80.8	28.0	32.9
Осень	94.7	91.7	32.4	28.2
Год	67.8	70.2	23.9	23.8

**Таблица 3.** Среднесезонные оценки экстремально высоких значений метеорологических величин ( $p > 0.95$ ) на севере и юге Западной Сибири в конце XX – начале XXI веков по данным реанализа Era Interim

<b>Температура воздуха (Т), °С</b>				
<b>Сезон</b>	<b>Север Западной Сибири</b>		<b>Юг Западной Сибири</b>	
	<b>1979-1998</b>	<b>1999-2016</b>	<b>1979-1998</b>	<b>1999-2016</b>
Зима	-12.6	-11.9	-5.0	-5.2
Весна	5.6	6.9	15.2	16.3
Лето	18.7	18.9	23.9	23.9
Осень	7.1	8.0	14.3	15.4
Год	4.7	5.5	12.1	12.6
<b>Скорость ветра (V), м/с</b>				
Зима	9.0	9.4	7.6	7.3
Весна	8.8	8.5	6.2	6.3
Лето	7.0	6.8	4.3	4.2
Осень	8.4	8.1	6.4	6.0
Год	8.3	8.2	6.1	5.9
<b>Осадки (R), мм</b>				
Зима	104.6	101.6	112.2	109.1
Весна	141.0	146.9	158.3	166.0
Лето	198.2	224.3	259.1	242.8
Осень	190.9	181.9	194.9	190.3
Год	158.7	163.7	181.1	177.1



**Рисунок 4.** Межгодовая изменчивость отрицательных (а,в,д) и положительных (б,г,е) экстремумов климатических величин в Западной Сибири  
 Пунктир – кривая, сглаженная с использованием ФНЧ

Анализ экстремальных значений скорости приземного ветра показал, что зимой в ЗС в целом, а также на СЗС (рис. 4г) и в Томской области в начале XXI века возрастают экстремально высокие значения скорости. В остальные сезоны

года в этих районах в течении всего исследуемого временного интервала положительные экстремальные значения скорости ветра стабильно уменьшаются (табл. 3). На юге Западной Сибири, зимой тенденции экстремально высоких значений обратны, по сравнению с другими районами: уменьшение в начале XXI века (рис. 4г). Весной и летом на ЮЗС изменения экстремально высоких скоростей ветра незначимы, а осенью экстремумы уменьшаются.

Установлено, что для ТО и для ЮЗС величины отрицательных аномалий выше, а положительных – ниже, чем для ЗС, в целом, что говорит о том, что похолодание климата, уменьшение количества осадков и скорости ветра на ЮЗС будет проявляться более заметно, чем во всем регионе.

Стоит отметить, что представленный в работе комплексный подход расчета экстремальных значений климатических величин, основанный как на определении превышений пороговых значений, так и на оценке квантилей по ВФРВ, в целом, дает похожие результаты с другими методами расчета экстремумов для Западной Сибири (Второй оценочный доклад ..., 2014). Однако применение его к расчету сезонных экстремальных значений на севере и юге территории для продолжительного интервала времени позволяет получить более детальное представление о пространственно-временной изменчивости экстремальных значений в заданном регионе.

### **Заключение**

По данным наблюдений установлено, что в начале XXI века в весенне-летний период потеплением охвачена практически вся территория Западной Сибири. В холодный период года этот процесс нарушается. Осенью температура начинает уменьшаться, а зимой этот процесс отчетливо выражен на юге региона (в том числе и в Томской области), тогда как в северной его части тренд стабильно положительный. Временной ход величины количества осадков подобен ходу температуры воздуха. При этом скорость ветра уменьшается во все сезоны года.

Анализ результатов расчета экстремальных значений климатических величин, выполненный по данным реанализа ERA Interim, показал, что в начале XXI века наблюдалось увеличение отрицательных экстремумов температуры в весенне-летний период. При этом в северной части Западной Сибири зимой наблюдается уменьшение экстремально высоких температур, а южной – рост экстремально низких. Это говорит о проявления зимнего похолодания на юге региона. Также зимой происходило увеличение экстремумов количества осадков, связанное с ростом числа дней со снегопадами для нескольких последних лет. Выявленные тенденции сопровождаются увеличением экстремальных значений скорости приземного ветра. В то же время летом появляется вероятность возникновения засушливых периодов, поскольку наблюдается увеличение отрицательных экстремумов осадков. Этому способствует и тот факт, что на юге региона наблюдается увеличение вероятности возникновения высоких температур (выше 30°C) и уменьшение скорости ветра. Это особенно выражено на юге Западной Сибири и также в Томской области.

---

Таким образом, получено, что в начале XXI века в Западной Сибири увеличивается экстремальность климата, которая характеризуется как ростом числа дней с опасным явлением, так и усилением экстремумов исследуемых климатических величин. Это создает предпосылки для перехода экстремальных климатических событий в разряд опасных метеорологических явлений.

Стоит отметить, что при исследовании изменчивости климата очень важна точность оценки экстремальных событий. Представленные в базах данных реанализа и спутникового зондирования данные об осадках зависят от разрешения сетки. Поэтому поля осадков в климатических моделях усваиваются и описываются с погрешностью из-за грубого разрешения сетки и недостатков методов параметризации. При этом средние оценки осадков воспроизводятся с большей точностью, чем оценки их экстремальных значений (Золина, Булыгина, 2016). Интерполяция данных наблюдений в узлы сетки приводит к сглаживанию экстремальных величин и будет влиять на оценки трендов, особенно в регионах с редкой сетью станций (например, на севере Сибири). Как следствие, при оценке экстремумов осадков и характеристик ветра возникают большие неопределенности самой величины, что говорит о необходимости использования нескольких баз данных для получения более достоверных оценок. При этом значения температуры воздуха в данных реанализа воспроизводятся достаточно точно (Кокорев, Шерстюков, 2015).

Таким образом, согласно полученным результатам, в дальнейшем для получения более корректного описания изменения климата (в том числе и экстремальных значений) необходимо использование реанализов с более высоким пространственным разрешением, а также привлечение дополнительных источников данных.

### **Благодарности**

*Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-45-703014.*

### **Список литературы**

Ананова Л.Г. 2011. Метеорологические и аэросиноптические условия возникновения шквалов на юго-востоке Западной Сибири. – Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Пермь, 20 с.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2014. – Москва, ФГБУ НИЦ «Планета», 58 с.

Волкова М.А., Чередыко Н.Н., Ивашкова О.А. 2013. Особенности формирования и социально-экономические последствия температурных рисков в Томской области. – Вестник Томского государственного университета, № 374, с. 180-187.

Гидрометеорологические риски. 2008. /Под ред. проф. Л.Н. Карлина. – СПб, Изд-во РГГМУ, 282 с.

Горбатенко В.П., Константинова Д.А. 2009. Конвекция в атмосфере над юго-востоком Западной Сибири. – Оптика атмосферы и океана, т. 22, № 1, с. 17-21.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. 2018. – М., 70 с.

Дульзон А.А., Горбатенко В.П. 2006. Результаты исследования грозовой активности над территорией Томской области. – Известия Томского политехнического университета, т. 309, № 2, с. 126-130.

Евсеева Н.С. 2001. География Томской области (Природные условия и ресурсы). – Томск, Издательство Томского Университета, 223 с.

Евсеева Н.С., Ромашова Т.В. 2011. Опасные метеорологические явления как составная часть природного риска (на примере юга Томской области). – Вестник Томского государственного университета, № 353, с. 199-204.

Ершова Т.В., Горбатенко В.П., Клипова О.А. 2012. Термодинамические параметры атмосферы при грозах и ливнях. – Вестник Томского государственного педагогического университета, вып. 7, с. 9-14.

Ершова Т.В. 2016. Опасные явления погоды летом в Томской области. – В сб.: Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: сборник материалов II Международной научно-практической конференции: в 2-х томах. – Кемерово, Изд-во: ООО «Западно-Сибирский научный центр», с. 15-19.

Золина О.Г., Булыгина О.Н. 2016. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России. – Фундаментальная и прикладная климатология, № 1, с. 84-103. Doi: 10.21513/2410-8758-2016-1-84-103.

Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В. 2008. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975 - 2005 гг. – Журнал Сибирского федерального университета. Биология, т. 1, № 4, с. 323-344.

Кобышева Н.В., Галюк Л.П., Панфутова Ю.А. 2008. Методика расчета социального и экономического рисков, создаваемых опасными явлениями погоды. – Труды ГГО, вып. 558, с. 162-171.

Кокорев В.А., Шерстюков А.Б. 2015. О метеорологических данных для изучения современных и будущих изменений климата на территории России. – Арктика. XXI век. Естественные науки, № 2, с. 5-23.

Колмакова М.В., Захарова Е.А., Кураев А.В., Земцов В.А., Кирпотин С.Н. 2012. Временная изменчивость климата и обводнённости территории Западной Сибири по данным метеорологических станций, модельного реанализа и спутниковой альтиметрии. – Вестник Томского государственного университета, № 364, с. 173-180.

---

Лучицкая И.О., Белая Н.И. 2011. Режим сильных ветров и риски ущерба от их воздействия на территории юго-востока Западной Сибири. – В сб.: Труды Сибирского регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института /под ред. В.Н. Крупчатникова, О.В. Климова. – Новосибирск, Изд-во СО РАН, вып. 106, с. 64-89.

Мохов И.И., Акперов М.Г. 2006. Вертикальный температурный градиент в тропосфере и его связь с приповерхностной температурой по данным реанализа. – Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, т. 42, № 4, с. 467-475.

Неровных А.Н., Заворотный А.Г., Бутенко В.М. 2015. Опасные природные процессы: учеб. пособие. – М., Академия ГПС МЧС России, 306 с.

Панфутова Ю.А. 2008. Опасные метеорологические явления на равнинной территории Российской Федерации и риски, создаваемые ими. – Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – СПб, с. 21.

Переведенцев Ю.П., Важнова Н.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Шарипова Р.Б. 2012. Современные тенденции изменения климата в Приволжском федеральном округе. – Георесурсы, № 6, с. 19-24.

Поляков Д.В., Барашкова Н.К., Кужевская И.В. 2014. Погодно-климатическая характеристика аномального лета 2012 г. на территории Томской области. – Метеорология и гидрология, № 1, с. 38-47.

Пустовалов К.Н., Кобзев А.А., Нагорский П.М., Тельминов А.Е. 2017. Система оперативного обнаружения кучево-дождевых облаков, как потенциальных источников атмосферных явлений конвективного происхождения. – В сб.: Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: Тезисы докладов российской конференции /под ред. М. В. Кабанова. – Томск, Изд. ООО «Офсет центр», с. 227-228.

Ромашова Т.В. 2004. Сезонные ритмы климата и их влияние на развитие эрозии почв (на примере юга Томской области). – Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Томск, 20 с.

Слущкий В.И., Новикова Т.В. 1976. Непрерывная продолжительность бурных ветров на территории Томской области. – Томск, Деп. в ВИНТИ 17.05.76, № 1830, 76 с.

Стратегический прогноз изменений климата РФ на период 2010–2015 гг. и их влияние на отрасли экономики. 2005. /Под ред. А.И. Бедрицкого. – М., Росгидромет, 30 с.

Ульянов Д.В. 2015. Характеристика температурного режима, формирующего опасные явления на территории Томской области. – В сб.: Климатология и гляциология Сибири. Материалы международной научной конференции / под общ. ред. В.П. Горбатенко, В.В. Севастьянова. – Томск, с. 107.

Харюткина Е.В., Ипполитов И.И., Логинов С.В. 2016. Роль радиационных и циркуляционных факторов в изменении климата Западной Сибири в конце

XX и начале XXI веков. – Известия РАН. Физика атмосферы и океана, № 6, с. 651-659.

Шарапова А.А., Кужевская И.В., Каштанова К.А., Поляков Д.В. 2017. Характеристики экстремальных осадков на территории Западной Сибири. – Географический вестник. Метеорология, № 3 (42), с. 88-98.

Barbosa S.M., Scotto M.G., Alonso A.M., 2011. Summarising changes in air temperature over 324 central Europe by quantile regression and clustering. – Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol. 11, pp. 3227-3233.

Chernokulsky A.V., Bulygina O.N., Mokhov I.I. 2011. Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations. – Environ. Research Letters, vol. 6, No. 3, pp. 035202.

Cressie N.A.C. 1990. The Origins of Kriging. – Mathematical Geology, vol. 22, pp. 239-252.

Grimm J.W., Lynch J.A. 1991. Statistical analysis of error in estimating wet deposition using five surface estimation algorithms. – Atmospheric Environment, vol. 25A, pp. 317-127.

Parmesan C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. – Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, vol. 37, pp. 637-669.

Sillmann J., Donat M.G., Fyfe J.C., Zwiers F.W. 2014. Observed and simulated temperature extremes during the recent warming hiatus. – Environ. Research Letters, vol. 9, pp. 1-8.

*Статья поступила в редакцию: 26.12.2018 г.*

*После переработки: 15.04.2019 г.*



---

# TENDENCIES IN CHANGES OF CLIMATE EXTREMALITY IN WESTERN SIBERIA AT THE END OF THE XX CENTURY AND THE BEGINNING OF THE XXI CENTURY

*E.V. Kharyutkina, S.V. Loginov, E.I. Usova, Yu.V. Martynova, K.N. Pustovalov*

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,  
10/3, Academichesky ave., 634055, Tomsk, Russian Federation; *kh\_ev@mail2000.ru*

**Abstract.** In the framework of the paper the analysis of the interannual variability in seasonal estimates of surface air temperature, wind speed, amount of precipitation and their anomalies was carried out over the time interval 1976-2016 for Western Siberia and separately for its northern and southern parts, as well as for the Tomsk region. Observations at meteorological stations (NOAA and RIHMI-WDC) and ERA Interim reanalysis dataset were used as a data.

Based on observational data, it was found that at the beginning of the XXI century warming was observed over the whole territory of Western Siberia in spring and in summer. Cooling was well pronounced in winter in the south of the territory (including the Tomsk region), while in the northern part temperature trend was steadily positive. The interannual variability in the amount of precipitation was similar to that of air temperature, and the wind speed decreased in all seasons.

The temporal variations of surface air temperature extremes were in accord with winter cooling observed in the southern part of the region. At the same time, there was an increase in positive extreme values of precipitation and wind speed. In summer, on the contrary, the probability of droughty periods was appeared, since an increase in negative anomalies precipitation was observed. This tendency was especially pronounced in the south of Western Siberia and in Tomsk region.

Comparison of seasonal estimates of temperature and precipitation from observational and reanalysis data showed a high degree of their similarity. As for the wind speed estimates, they have less correlation, especially in the northern Western Siberia.

Thus, it was found that at the beginning of the XXI century, the climate extremality in Western Siberia have been increasing, they began to appear more often in one or another area of the region, depending on the season. This predetermines the transition of extreme climate events into the category of dangerous meteorological phenomena.

**Keywords.** Surface air temperature, amount of precipitation, extreme values, observational data, reanalysis, Western Siberia, Tomsk region.

## References

Ananova L.G. 2011. *Meteorologicheskie i aerosinopticheskie usloviya vozniknoveniya shkvalov na yugo-vostoke Zapadnoj Sibiri* [Meteorological and aerosynoptic conditions for the occurrence of squalls in the south-east of Western Siberia]. Extended abstract of candidate's thesis. Perm, 20 p.

---

*Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshchee rezyume* [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary]. 2014. Moscow, 58 p.

Volkova M.A., Chered'ko N.N., Ivashkova O.A. 2013. Osobennosti formirovaniya i social'no-ekonomicheskie posledstviya temperaturnyh riskov v Tomskoj oblasti [Features of the formation and socio-economic consequences of temperature risks in the Tomsk region]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Vestnik of Tomsk State University*, no. 374, pp. 180-187.

*Gidrometeorologicheskie riski* [Hydrometeorological risks]. 2008. St. Petersburg, 282 p.

Gorbatenko V.P., Konstantinova D.A. 2009. Konvekciya v atmosfere nad yugovostokom Zapadnoj Sibiri [Convection in the atmosphere over the south-east of Western Siberia]. *Optika atmosfery i okeana – Optics of the Atmosphere and the Ocean*, vol. 22, no. 1, pp. 17-21.

*Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2017 god* [A report on climate features in the territory of the Russian Federation in 2017]. 2018. Moscow, 70 p.

Dul'zon A.A., Gorbatenko V.P. 2006. Rezul'taty issledovaniya grozovoj aktivnosti nad territoriej Tomskoj oblasti [Results of a study of thunderstorm activity over the territory of the Tomsk region]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Proceedings of the Tomsk Polytechnic University*, vol. 309, no. 2, pp. 126-130.

Evseeva N.S. 2001. *Geografiya Tomskoj oblasti (Prirodnye usloviya i resursy)* [Tomsk region geography (Natural conditions and resources)]. Tomsk, 223 p.

Evseeva N.S., Romashova T.V. 2011. Opasnye meteorologicheskie yavleniya kak sostavnaya chast' prirodnogo riska (na primere yuga tomskoj oblasti) [Hazardous meteorological phenomena as an integral part of natural risk (using the example of the south of the Tomsk region)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Tomsk State University*, no. 353, p. 199-204.

Ershova T.V., Gorbatenko V.P., Klipova O.A. 2012. Termodinamicheskie parametry atmosfery pri grozah i livnyah [Thermodynamic parameters of the atmosphere during thunderstorms and rain]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – Bulletin of Tomsk State Pedagogical University*, vol. 7, pp. 9-14.

Ershova T.V. 2016. *Opasnye yavleniya pogody letom v Tomskoj oblasti* [Dangerous weather phenomena in the summer in the Tomsk region]. *Sbornik materialov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii “Nauchno-tekhnicheskij progress: aktual'nye i perspektivnye napravleniya budushchego”* [Collected Materials of the II International Scientific and Practical Conference “Scientific and Technical Progress: Current and Perspective Future Directions”]. Kemerovo, pp. 15-19.

---

Ippolitov I.I., Kabanov M.V., Loginov S.V., Haryutkina E.V. 2008. Struktura i dinamika meteorologicheskikh polej na aziatskoj territorii Rossii v period intensivnogo global'nogo potepleniya 1975-2005 gg. [Structure and Dynamics of Meteorological Fields in the Asian Territory of Russia in the Period of Intensive Global Warming 1975-2005]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya – Journal of the Siberian Federal University. Biology*, vol. 1, no. 4, pp. 323-344.

Kobysheva N.V., Galyuk L.P., Panfutova Yu.A. 2008. Metodika rascheta social'nogo i ekonomicheskogo riskov, sozdavaemyh opasnymi yavleniyami pogody [The method of calculating the social and economic risks posed by hazardous weather]. *Trudy GGO – Proceedings of MGO*, vol. 558, pp. 162-171.

Kokorev V.A., Sherstyukov A.B. 2015. O meteorologicheskikh dannyh dlya izucheniya sovremennyh i budushchih izmenenij klimata na territorii Rossii – [About meteorological data to study current and future climate change in Russia]. *Arktika. XXI vek. Estestvennye nauki Arctic. XXI century. Natural sciences – Arctic. Twenty-first century. Natural science*, no. 2, pp. 5-23.

Kolmakova M.V., Zaharova E.A., Kuraev A.V., Zemcov V.A., Kirpotin S.N. 2012. Vremennaya izmenchivost' klimata i obvodnyonnosti territorii Zapadnoj Sibiri po dannym meteorologicheskikh stancij, model'nogo reanaliza i sputnikovoj al'timetrii [Temporal variability of climate and watering in Western Siberia according to meteorological stations, model reanalysis and satellite altimetry]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Tomsk State University*, no. 364, pp. 173-180.

Luchickaya I.O., Belaya N.I. 2011. Rezhim sil'nyh vetrov i riski ushcherba ot ih vozdejstviya na territorii yugo-vostoka Zapadnoj Sibiri [Mode of strong winds and the risks of damage from their impact on the territory of the south-east of Western Siberia]. *Trudy Sibirskogo regional'nogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo institute – Proceedings of the Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute*. Novosibirsk, vol. 106, pp. 64-89.

Mohov I. I., Akperov M. G. 2006. Vertikal'nyj temperaturnyj gradient v troposfere i ego svyaz' s pripoverhnostnoj temperaturoj po dannym reanaliza [Vertical temperature gradient in the troposphere and its connection with the surface temperature according to reanalysis]. *Izvestia RAN. Fizika atmosfery i okeana – Izvestia RAS. Physics of the Atmosphere and the Ocean*, vol. 42, no. 4, pp. 467-475.

Nerovnyh A.N., Zavorotnyj A.G., Butenko V.M. 2015. *Opasnye prirodnye processy: uchebnoe posobie* [Dangerous natural processes: a training manual]. Moscow, 306 p.

Panfutova Yu.A. 2008. *Opasnye meteorologicheskie yavleniya na ravninnoj territorii Rossijskoj Federacii i riski, sozdavaemye imi* [Dangerous meteorological phenomena in the flat territory of the Russian Federation and the risks they pose]. Extended abstract of candidate's thesis. St. Petersburg, 21 p.

Perevedencev Yu.P., Vazhnova N.A., Naumov E.P., Shantalinskij K.M., Sharipova R.B. 2012. *Sovremennye tendencii izmeneniya klimata v Privolzhskom federal'nom okruge* [Current trends in climate change in the Volga Federal District]. *Georesursy – Georesources*, no. 6, pp. 19-24.

Polyakov D.V., Barashkova N.K., Kuzhevskaya I.V. 2014. *Pogodno-klimaticheskaya karakteristika anomal'nogo leta 2012 g. na territorii Tomskoj oblasti* [Climatic and climatic characteristics of the anomalous summer of 2012 in the territory of the Tomsk region]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 1, pp. 38-47.

Pustovalov K.N., Kobzev A.A., Nagorskij P.M., Tel'minov A.E. 2017. *Sistema operativnogo obnaruzheniya kuchevo-dozhdevykh oblakov, kak potencial'nyh istochnikov atmosferynykh yavlenij konvektivnogo proiskhozhdeniya* [A system for rapid detection of cumulonimbus clouds as potential sources of atmospheric phenomena of convective origin]. *Tezisy dokladov rossijskoj konferencii “Dvenadcatoe Sibirskoe soveshchanie i shkola molodyh uchenyh po klimatologicheskomu monitoring”* [Abstracts of the reports of the Russian conference “The Twelfth Siberian Meeting and School of Young Scientists on Climate-Ecological Monitoring”]. Tomsk, pp. 227-228.

Romashova T.V. 2004. *Sezonnye ritmy klimata i ih vliyanie na razvitie erozii pochv (na primere yuga Tomskoj oblasti)* [Seasonal climate rhythms and their influence on the development of soil erosion (by the example of the south of the Tomsk region)]. Extended abstract of candidate's thesis. Tomsk, 20 p.

Sluckij V.I., Novikova T.V. 1976. *Nepreryvnaya prodolzhitel'nost' burnyh vetrov na territorii Tomskoj oblasti* [Continuous duration of stormy winds in the territory of the Tomsk region]. Tomsk, 76 p.

*Strategicheskij prognoz izmenenij klimata RF na period 2010-2015 gg. i ih vliyanie na otrasli ekonomiki* [Strategic forecast of climate change in the Russian Federation for the period 2010-2015 and their impact on industries]. 2005. Moscow, 30 p.

Ul'yanov D.V. 2015. *Harakteristika temperaturnogo rezhima, formiruyushchego opasnye yavleniya na territorii Tomskoj oblasti* [Characteristics of the temperature regime that forms dangerous phenomena in the territory of the Tomsk region]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Klimatologiya i glyaciologiya Sibiri”* [Proceedings of the international scientific conference “Climatology and glaciology of Siberia”]. Tomsk, p. 107.

Haryutkina E.V., Ippolitov I.I., Loginov S.V. 2016. *Rol' radiacionnykh i cirkulyacionnykh faktorov v izmenenii klimata Zapadnoj Sibiri v konce XX i nachale XXI vekov* [The role of radiation and circulation factors in climate change in Western Siberia in the late XX and early XXI centuries]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana – Proceedings of the RAS. Physics of the Atmosphere and the Ocean*, no. 6, pp. 651-659.

---

Sharapova A.A., Kuzhevskaya I.V., Kashtanova K.A., Polyakov D.V. 2017. Harakteristiki ekstremal'nyh osadkov na territorii Zapadnoj Sibiri [Characteristics of extreme precipitation in Western Siberia]. *Geograficheskij vestnik. Meteorologiya – Geographic herald. Meteorology*, no. 3 (42), pp. 88-98.

Barbosa S.M., Scotto M.G., Alonso A.M., 2011. Summarising changes in air temperature over 324 central Europe by quantile regression and clustering. – *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 11, pp. 3227-3233.

Chernokulsky A.V., Bulygina O.N., Mokhov I.I. 2011. Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations. – *Environ. Research Letters*, vol. 6, No. 3, pp. 035202.

Cressie N.A.C. 1990. The Origins of Kriging. – *Mathematical Geology*, vol. 22, pp. 239-252.

Grimm J.W., Lynch J.A. 1991. Statistical analysis of error in estimating wet deposition using five surface estimation algorithms. – *Atmospheric Environment*, vol. 25A, pp. 317-127.

Parmesan C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. – *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 37, pp. 637-669.

Sillmann J., Donat M.G., Fyfe J.C., Zwiers F.W. 2014. Observed and simulated temperature extremes during the recent warming hiatus. – *Environ. Research Letters*, vol. 9, pp. 1-8.