

УДК 551.582.2

А.А. Шарапова, И.В. Кужевская, К.А. Каштанова, Д.В. Поляков
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Томский государственный университет, Томск

Проведен анализ пространственно-временной изменчивости экстремальности атмосферных осадков суточного разрешения на территории Западной Сибири для выявления изменений в распределении временных рядов атмосферных осадков с 1960 по 2012 г. с помощью климатических показателей экстремальности. В работах по изучению экстремальных климатических явлений, которые проводятся для различных регионов по всему Земному шару, часто используется подход, разработанный и рекомендованный объединённой рабочей группой ВМО по обнаружению изменения климата – STARDEX Diagnostic Extremes Indices. При исследовании текущих изменений параметров распределения на основе 30-летних скользящих средних для климатических показателей экстремальности были применены методы *EV*-диаграмм и скользящей обеспеченности. Изменения в распределении временных рядов прослеживаются для всех привлечённых индексов экстремальности (*R20mm*, *R5d*, *SDII*, *CDD*) за исключением *CWD*. Все выявленные изменения территориально привязаны к южной равнинной части Западной Сибири и среднегорья Алтая и подтверждают факт изменений режима атмосферных осадков на территории равнинного и среднегорного Алтая.

К л ю ч е в ы е с л о в а : атмосферные осадки, климатические показатели экстремальности.

A.A. Sharapova, I.V. Kuzhevskaya, K.A. Kashtanova, D.V. Polyakov
CHARACTERISTICS OF HEAVY PRECIPITATION IN WESTERN SIBERIA

Tomsk State University, Tomsk

Spatio-temporal variability of daily precipitation extremes on the territory of Western Siberia is presented. It is useful to identify changes in the distribution of the time series of atmospheric precipitation with climatic parameters of extremality. The studies of extreme weather events around the globe often use the STARDEX Diagnostic Extremes Indices. The above mentioned approach has been developed by the united working group of the WMO Climate Change Detection. We used the *EV*-diagram and moving exceedance probability methods to explore the current changes in the distribution parameters based on the 30-year moving averages for the climatic parameters of extremality. Changes in the distribution of time-series can be traced back for extreme indices (*R20mm*, *R5d*, *SDII*, *CDD*), except for *CWD*. All detected changes are geographically tied to the southern plains of Western Siberia and Altai midlands.

Key words: heavy precipitation, climate variability, Climate Change Indices.

doi 10.17072/2079-7877-2017-3-88-98

Введение

В последние годы большое количество научных исследований посвящено изучению температурного режима [1; 3; 10], как основного фактора климатических изменений. В свою очередь, атмосферные осадки также вносят значимый вклад в формирование погоды и климата [8; 12; 15]. Зачастую атмосферные осадки способствуют возникновению экстремальных погодных явлений со значительными материальными ущербами.

Сильные дожди на территории Западной Сибири с 2006 по 2015 г. наблюдались практически каждый год и повлекли за собой большие экономические ущербы. Так, например, ущерб от наводнения в конце мая 2015 г. в Алтайском крае [5; 11] в результате сильных осадков составил 6, 5 млрд руб.

Существенный ущерб понесла Новосибирская область в июле 2009 г. (13 млн руб.). В этом же году в Алтайском крае и Республике Алтай вследствие сильного дождя были повреждены сельхозкультуры и размыты дороги, в результате чего ущерб составил более 3 млн руб. Дождевые паводки наблюдались в 4 случаях из 10 последних лет, в основном весной и летом. Это приводило к затоплению участков дорог, мостов и населённых пунктов. Половодья, наблюдавшиеся практически

каждый год, также обусловили значительные материальные потери: затопление жилых домов и автодорог. Ущерб для Алтайского края составил 6 млрд руб. в 2015 г. и 1,5 млрд руб. в 2010 г.; для Кемеровской области в 2007 г. – это 11 млн руб. и суммарно 4,4 млн руб. от половодья на реках Обь, Чулым и некоторых других в 2014 г. [5; 11].

Изучение экстремальных климатических явлений проводится для различных регионов по всему земному шару. В работах [4; 13] отмечается некоторое увеличение числа дней с осадками более 5 мм при отрицательной среднесуточной температуре воздуха на большей части территории Западной Сибири.

В частности, для прогнозирования изменений интенсивности атмосферных осадков в Арктике применяются показатели их экстремальности. Авторами [21] получено, что показатели годового среднего количества осадков (*PAVE*), суточной интенсивности осадков (*SDII*) и максимальной пентадной суммы осадков (*R5d*) монотонно увеличиваются к концу XXI в., что характерно для всей Арктики. Причина такого монотонного увеличения заключается в том, что вследствие роста температуры воздуха и переноса водяного пара из низких в более высокие широты увеличивается количество водяного пара в Арктике.

Опасные климатические события являются одними из самых важных элементов изменения климата, которые непосредственно затрагивают природу и общество. В последние годы наблюдается значительное количество предложенных климатических показателей экстремальности различных параметров для анализа и контроля изменения климата. В работе [22] представлен анализ максимальной (*Tmax*) и минимальной температуры воздуха (*Tmin*) и осадков на основе 8 климатических показателей экстремальности в городах Ниса и Белград (Сербия) в течение 1974–2003 гг. Авторы использовали следующие индексы: дни мороза (*FD*), летние дни (*SU*), ледяные дни (*ID*), максимальная сумма осадков (*Rx1day*), максимальная продолжительность сухих периодов (*CDD*), максимальная продолжительность влажных периодов (*CWD*) и др. Результаты исследования показывают, что для района г. Ниса нет никаких существенных изменений в индексах *CDD* и *CWD*, тогда как в Белграде были отмечены некоторые уменьшения значений этих индексов.

Для территории Грузии в [20] также используется ряд показателей экстремальности атмосферных осадков. Исследование иллюстрирует недавние изменения в изменчивости, интенсивности, частоте и продолжительности экстремальных явлений для всей области исследования. В качестве исходного материала послужили данные суточного разрешения об атмосферных осадках и температуре воздуха с 1971 по 2010 гг. В результате исследования было выявлено, что индексы атмосферных осадков (*R20mm*, *R95p*, *SDII*) показывают некоторую положительную, но статистически не подтвержденную, динамику. Одновременно с этим максимальная продолжительность влажных периодов (*CWD*) уменьшилась, отмечают авторы [20].

В последней работе [18], посвященной проявлению экстремальности климата на территории Алтайского региона, также использовались индексы экстремальности. В ходе исследования авторами было установлено, что изменение годовых сумм сильных осадков носит циклический характер, причем кривые распределения их временных рядов наиболее сильно трансформировались в период 1980–1990 гг. Наиболее значимые трансформации отмечаются для рядов сумм сильных осадков (*R95p*).

В этой связи цель данного исследования сводится к выявлению изменений в распределении временных рядов атмосферных осадков с помощью климатических показателей экстремальности на территории Западной Сибири.

Материалы и методы исследования

Информационной базой для оценки изменчивости метеорологических (по данным наблюдений) и расчетных параметров, характеризующих современные климатические условия на территории Западной Сибири, включая ее арктическое побережье, послужили данные суточного разрешения об атмосферных осадках с 51 метеорологической станции с 1960 по 2012 г. [17].

Наиболее распространенным способом определения экстремальности является отнесение к экстремальным различных достаточно редких состояний климатической системы, характеризующихся аномальными значениями отдельных метеорологических элементов или их совокупности. К таким состояниям можно отнести необычайно суровые зимы или засухи, описания которых встречаются как в исторических хрониках, так и в климатических обзорах периода инструментальных наблюдений. Для унификации расчетов по оценке экстремальности погодных условий при исследовании климата применяется подход, разработанный и рекомендованный

объединённой рабочей группой ВМО по обнаружению изменения климата – STARDEX Diagnostic Extremes Indices [19].

В частности, для выявления экстремальных климатических явлений в режиме атмосферных осадков рекомендуют использовать индексы:

1) $R5d$ – максимальная пентадная сумма осадков. Максимальное в году количество осадков, выпавших за последовательные пять суток (индекс выявляет ситуации, ассоциируемые с возникновением дождевых паводков);

2) $SDII$ – суточный индекс интенсивности осадков. Отношение годовой суммы осадков к числу дней (с осадками ≥ 1 мм/сутки) в году;

3) $R20mm$ – число суток с осадками ≥ 20 мм/сутки. Количество дней в году с суточной максимальной суммой осадков не менее 20 мм;

4) CDD – максимальная продолжительность сухих периодов. Максимальное число последовательных сухих дней в году (с осадками < 1 мм/сутки);

5) CWD – максимальная продолжительность влажных периодов. Максимальное число последовательных влажных дней в году (с осадками ≥ 1 мм/сутки) в году.

В проекте STARDEX разработано довольно большое число индексов, с которыми можно провести параллели с некоторыми критериями опасных природных гидрометеорологических явлений, учитываемых в прогнозах для отраслей экономики, например, в агрометеорологии или в эксплуатации дорог.

Для каждого исследуемого показателя экстремальности было проведено уменьшение размерности при помощи кластерного анализа [2; 9; 14], в результате были получены соответствующие устойчивые группы, состоящие из рядов значений индексов на метеорологических станциях, – кластеры, что позволило уменьшить количество временных рядов с 51 до 3–4 без потери информативности. Применение кластерного анализа позволяет выделять в исходных многомерных данных такие однородные подмножества, в которых объекты внутри групп были похожи друг на друга, а объекты из разных групп – не похожи. Задача сводится к выделению в этом пространстве естественных скоплений объектов, которые и считаются однородными группами. Полученные в результате разбиения группы обычно называются кластерами (таксонами, образам) [7].

На начальном этапе в имеющейся пространственной выборке, состоящей из временных рядов показателей экстремальности на каждой станции, происходит выделение каждого из них в отдельный класс. Такие классы, состоящие из единственного поля, называются начальными. Значения поля можно рассматривать как векторы в Евклидовом пространстве. Общее число рассматриваемых векторов равно количеству полей в выборке N , т.е. количеству рассматриваемых станций (в нашем исследовании 51 станция).

В качестве критерия близости классов был использован метод Уорда (*Ward's method*), который предполагает, что на первом шаге каждый кластер состоит из одного объекта, и первоначально объединяются два ближайших кластера. Метод Уорда приводит к образованию кластеров приблизительно равных размеров с минимальной внутриклассовой вариацией. В итоге все объекты оказываются объединенными в один кластер [16].

Изменения климата на различных интервалах времени и в разных регионах ведут к трансформации функций плотности распределения $f(x)$ гидрометеорологических элементов. Трансформация функций плотности распределения выражается, прежде всего, в сдвиге положения центра распределения гидрометеорологических показателей, а также в изменении (в увеличении или уменьшении) дисперсии, характеризующей межгодовую изменчивость [6].

Для анализа текущих изменений метеорологических или иных параметров $f(x)$ – среднего арифметического (E) и дисперсии (V) – [6] предлагает использовать метод EV -диаграмм, который позволяет осуществлять постоянный мониторинг текущих изменений климата. На EV -диаграмме расстояние между соседними точками V_i и V_{i+1} характеризует степень изменения (трансформации) кривой распределения плотности вероятности за счет добавления нового наблюдения и изъятия самого «старого» наблюдения анализируемого временного ряда. Чем сильнее эти два наблюдения отличаются друг от друга, тем на большее расстояние каждый год смещается точка, характеризующая текущее состояние климата. Если новое и старое наблюдения совпадают, то точка V_i сохраняет свое положение на диаграмме.

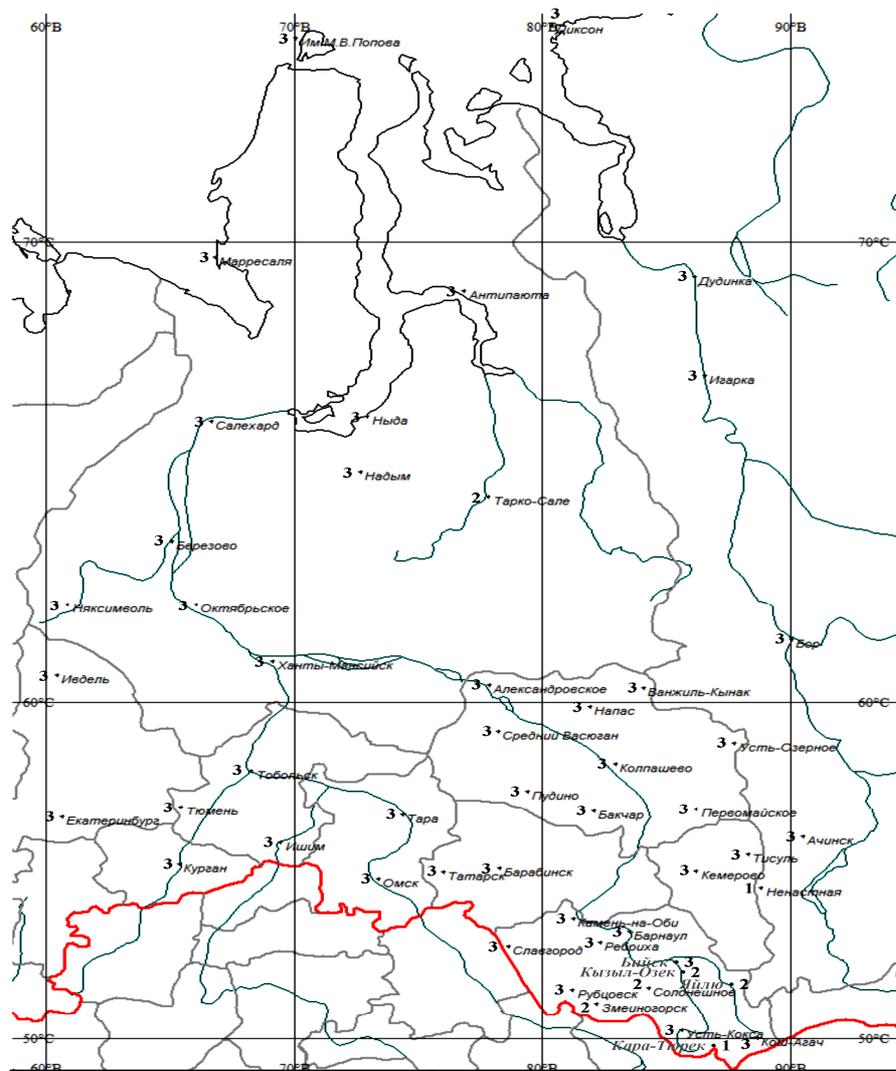
Обеспеченность или суммарная вероятность характеризует наступление какого-либо явления выше или ниже среднего уровня, раньше или позже среднего срока [6]. В климатологии и агроклиматологии расчеты вероятностей различных явлений производятся различными способами, в

зависимости от характера изменчивости элемента, который определяет форму кривой вероятности. Накопленные повторяемости (обеспеченность) отдельных градаций вместе со значениями исследуемого элемента являются важной характеристикой распределения. В настоящей работе для расчета обеспеченности использовалась формула Н.Н. Чегодаева. Интегральное распределение метеорологического элемента и его средняя величина позволяют выявить закономерность многолетнего режима элемента, т.е. его временную структуру [6].

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования были проведены расчеты всех выбранных индексов экстремальности атмосферных осадков для каждой из станций. В качестве иллюстрации на рис. 1 представлен результат классификации индекса R_{20mm} .

Для индекса R_{20mm} , характеризующего число суток с осадками ≥ 20 мм/сут, выделяется 3 кластера, в территориальном распределении которых прослеживается разрозненность. Большинство станций (86%) образует третий кластер с минимальным средним значением индекса 1,7 дней. Во второй кластер попало 5 станций (10% от числа всех станций): здесь наблюдается территориальная отдаленность станций. Для этого кластера характерно уже 5 суток в году с осадками ≥ 20 мм/сут. В первый кластер вошли всего 2 станции, однако именно на этих станциях наблюдается около 15 дней в году с осадками ≥ 20 мм/сут, что является наибольшим для Западной Сибири значением количества дней с суммой атмосферных осадков более 20 мм.



Среднее по классу значение индекса r_{20mm} (дни)

1 кластер - 14,5

2 кластер - 5,6

3 кластер - 1,7

Рис. 1. Результаты кластеризации индекса экстремальности R_{20mm}

Результат кластеризации суточного индекса интенсивности осадков *SDII* выявил 3 класса и математически независимый временной ряд индекса для ст. Кош-Агач. В первый кластер вошло 10% всех станций со средним значением по классу 6,7 мм/сут. – это станции, располагающиеся на юге рассматриваемой территории. Самым наполненным является второй кластер, в него вошло 74% станций, территориально занимающих центр Западной Сибири, со средним значением *SDII* 4,8 мм/сут. Северные станции вошли в третий кластер, которые составляют 16% всех пунктов кластеризации. Для этой территории Западной Сибири индекс принимает свои наименьшие средние значения – 3,8 мм/сут.

Итогом кластерного анализа для индекса максимальной пентадной суммы осадков (*R5d*) явилось формирование уже четырех кластеров, для которых характерна территориальная разрозненность. Самым многочисленным является третий кластер, в него вошло 49% станций. Среднее значение индекса составляет 46,2 мм. Во второй кластер попало 37% – 19 станций. В основном это центральные и южные станции, среднее значение по классу – 55,7 мм. Северные станции и Кош-Агач вошли в четвертый кластер, это 9% общего числа станций. Для станций этого кластера характерно минимальное среднее – 26,5 мм. Самым малочисленным кластером, в который вошло всего 2% станций (Ненастная и Яйлю), является первый, однако для него характерно максимальное среднее значение – 95 мм.

Рассмотрим далее результаты кластерного анализа индексов, характеризующих продолжительность дней с осадками и без них.

В поле индекса, отражающего максимальную продолжительность сухих периодов (*CDD*), выделилось три группы. В группах индекса *CDD* отмечается хорошая территориальная согласованность. Самый многочисленный – третий кластер, в него вошло 67% общего числа станций, здесь средняя продолжительность сухих периодов составляет 23 дня. Во второй кластер попало 16 станций, что в процентном соотношении составляет 31%. Средняя продолжительность влажных периодов в этом кластере – 30,4 дня. В первый кластер вошла 1 станция Кош-Агач, среднее значение для этого кластера составляет 78,6 дней.

Также три кластера выявляются и для индекса максимальной продолжительности влажных периодов (*CWD*). Все кластеры наполнены, территориального разброса внутри кластеров практически нет. В первый кластер вошло 4 станции, что в процентном соотношении составляет 8% общего числа. Для этого кластера средняя продолжительность влажных периодов составляет 10 дней. Второй кластер – самый многочисленный, в него входит 57% станций со средним значением продолжительности влажного периода 6,3 дня. Для третьего кластера характерно включение в математическое единство станций как южной, так и северной части территории Западной Сибири, в него вошло 35% станций, для которых средняя продолжительность влажных периодов составляет около 5 дней.

Таким образом, наилучшую согласованность временного хода показали индексы, отражающие суточную интенсивность осадков (*SDII*), максимальную продолжительность влажных периодов (*CWD*). Неплохую территориальную согласованность временного хода станций Западной Сибири показал индекс максимальной продолжительности сухих периодов (*CDD*).

При исследовании текущих изменений параметров распределения на основе 30-летних скользящих средних для климатических показателей экстремальности были построены *EV*-диаграммы (рис. 2). Кривая на диаграмме, соединяющая начальную и конечную точки, представляет собой траекторию движения соответствующего климатического показателя экстремальности за рассматриваемый период с 1960 по 2012 г. За начальную точку принимается среднее значение индекса экстремальности за период с 1960 по 1988 г., за конечную точку – среднее этого же индекса за период с 1983 по 2012 г.

В случае изучения поведения временных рядов максимальной продолжительности влажных периодов (*CWD*) каких-либо изменений за рассматриваемый период для всех кластеров не наблюдалось. Отсутствие таких изменений хорошо иллюстрирует рис. 2 *EV*-диаграмм индекса *CDD*.

Только для первого кластера индекса, характеризующего максимальную продолжительность сухих периодов (*CDD*), просматривается изменение распределения временных рядов: для них характерно увеличение повторяемости скользящего среднего и уменьшение среднеквадратического отклонения.

Метеорология

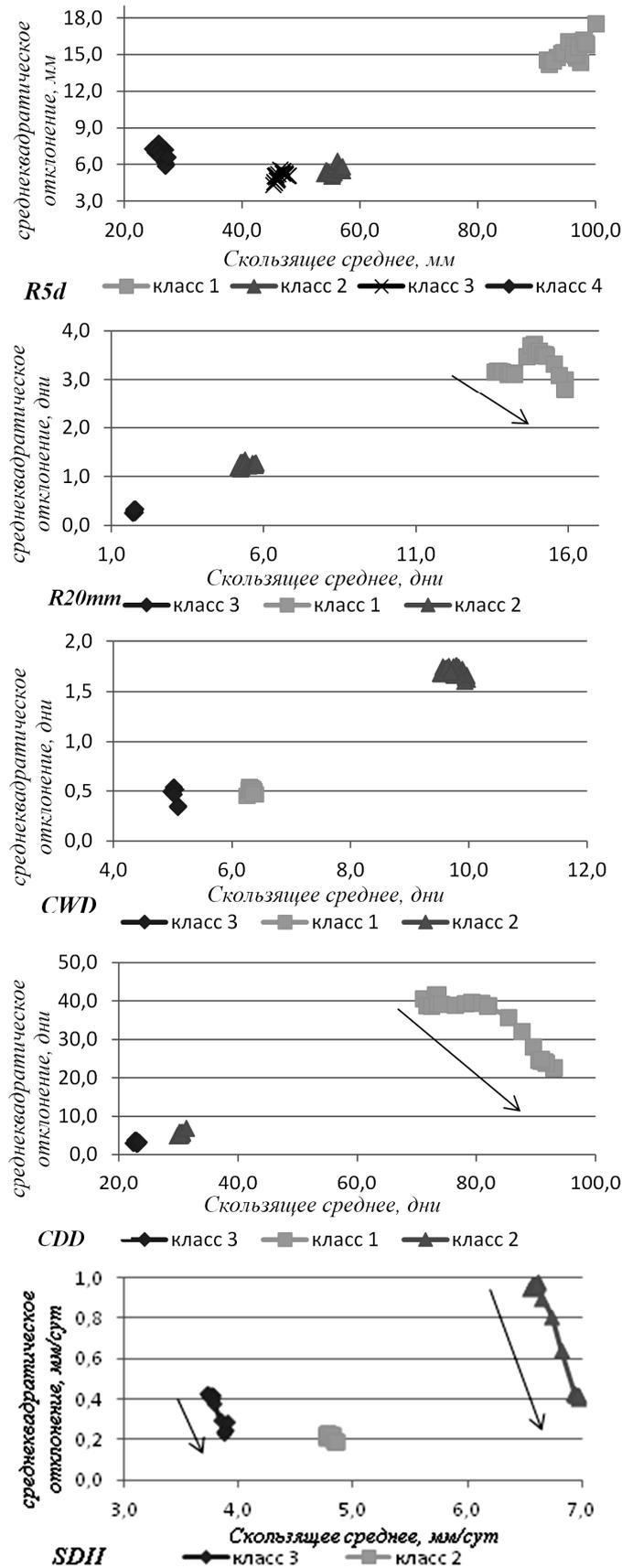


Рис. 2. EV-диаграмма изменений центров распределений и разброса для максимальной пентадной суммы осадков (*R5d*), числа суток с осадками ≥ 20 мм/сутки (*R20mm*); максимальной продолжительности влажных периодов (*CWD*); максимальной продолжительности сухих периодов (*CDD*); суточного индекса интенсивности осадков (*SDII*). (Стрелочками обозначено направление от начального до конечного периода осреднения)

Для индекса $R5d$ не наблюдается каких-либо изменений за исключением рядов станций из 1-го кластера, которые претерпевают незначительные трансформации – слабое увеличение как средних значений индекса, так и их среднеквадратических отклонений.

Для рядов одного из кластеров индекса $R20mm$ характерно увеличение среднего на 2,3 и слабое падение среднеквадратического отклонения на 0,4, для остальных кластеров не свойственны изменения параметров распределения.

В рядах суточного индекса интенсивности осадков ($SDII$) прослеживаются изменения параметров распределения в 1-м и 3-м кластерах, для этого изменения свойственны уменьшение среднеквадратического отклонения и незначительное увеличение повторяемости среднего значения индекса. Так, для класса 3 среднеквадратическое отклонение уменьшается на 0,2 мм/сут, при этом среднее значения индекса увеличивается на 0,1 мм/сут. Такие изменения скользящих средних можно назвать незначительными. Для 1-го класса среднеквадратическое отклонение уменьшается на 0,6 и среднее увеличивается на 0,4 мм/сут, что можно отнести к более существенным изменениям индекса интенсивности осадков.

При проведении полной оценки современных тенденций индексов экстремальности климата необходимо учитывать данные об обеспеченности (%) в отдельные годы, что является важной характеристикой распределения.

В таблице приведены 30-летние скользящие оценки повторяемости современного (на 1983–2012 гг.) состояния системы с пятилетним шагом для рассматриваемых индексов экстремальности климата.

Скользящие 30-летние оценки обеспеченности заданных значений современного состояния индексов экстремальности климата по классам

Период осреднения	Обеспеченность по классам, %															
	$R20mm$			$SDII$			CWD			CDD			$R5d$			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
1960-1989	25,5	40,2	53,4	28,8	71,4	48,4	37,0	46,8	45,2	22,3	38,5	32,1	23,0	28,5	38,5	38,2
1965-1994	28,1	43,5	58,3	28,8	64,8	45,2	38,2	50,1	43,8	35,4	35,4	38,6	28,8	35,4	38,2	35,4
1970-1999	38,6	59,7	56,6	41,9	64,8	45,2	41,9	53,4	41,9	45,2	38,6	45,2	38,6	35,4	35,1	32,1
1975-2004	41,9	63,0	60,7	46,7	46,7	43,5	42,2	40,3	46,8	51,7	35,4	45,3	41,9	35,4	36,9	32,3
1980-2009	58,1	64,8	64,8	51,3	28,6	48,4	43,5	46,9	50,1	55,0	35,4	47,2	45,2	41,9	38,5	37,9
1983-2012	15,9	5,7	1,7	7,0	4,9	3,9	6,4	9,7	5,1	90,8	31,3	23,4	99,9	57,0	45,2	27,4

Как следует из таблицы, наибольшее количество дней с осадками более 20 мм в сутки (около 16 дней) отмечено для первого кластера, состоящего из двух среднегорных станций Ненастная и Кара-Тюрек. Повторяемость такого количества дней в году с осадками более 20 мм в сутки на период 1983–2012 гг. составляла около 26%, постепенно увеличиваясь, и к 2009 г. составила уже 58%. Аналогичным образом, повторяемость во 2-м кластере количества дней с осадками более 20 мм в сутки около 6 дней возросла с 40 до 65%. В 3-м кластере каких-либо существенных изменений в обеспеченности не прослеживается, при этом именно этот кластер занимает наибольшую территорию.

Повторяемость значений индекса $R5d$ в 1-м кластере (Ненастная и Яйлю) составляла на период 1960–1989 гг. 23% и к 2009 г. увеличилась в два раза до 45%. Повторяемость пентадной суммы осадков 57 мм во втором кластере к настоящему моменту времени приблизилась к медиане. Для третьего и четвертого кластеров, к которым относится большинство станций, изменений обеспеченности их пентадных сумм осадков не выявлено.

К медианным значениям также приблизилась повторяемость в 1-м и 3-м кластерах продолжительностей сухих периодов (CDD) – это около 70% всех привлеченных станций. Для станций второго кластера индекса CDD повторяемость периода сухих дней продолжительностью 31 день наблюдается в пределах 35–38%.

Существенных изменений в повторяемости значений максимальной продолжительности влажных периодов (CWD) в любом из кластеров не прослеживается.

Повторяемость значения для 1-го кластера индекса $SDII$, равного 7 мм/сут к 2009 г., приблизилась к медианным значениям. Во втором кластере обеспеченность суточной интенсивности осадков 4,9 мм за сутки, наоборот, уменьшилась с 71 до 29% (это относится к станциям центральных районов Западной Сибири). В 3-м кластере, который образуют станции севера Западной Сибири, каких-либо существенных изменений обеспеченности современного значения индекса $SDII$ не прослеживается.

Таким образом, рост обеспеченностей значений индексов экстремальности климата прослеживается для отдельных кластеров индексов *SDII*, *R20mm* и *R5d*, что позволяет говорить о значительно возросших рисках сильных и продолжительных осадков на территории юга Западной Сибири.

Заключение

В ходе проверки временных рядов индексов экстремальности на изменения в распределении были использованы метод *EV*-диаграмм и метод скользящей обеспеченности. Оба способа оценки изменения эмпирического ряда показали схожие результаты. Изменения в распределении временных рядов прослеживаются для всех индексов экстремальности за исключением индекса *CWD*, т.е. это свидетельствует о том, что максимальная продолжительность влажных периодов не претерпевает значимых изменений.

Нужно отметить, что все выявленные изменения территориально привязаны к южной равнинной части Западной Сибири и среднегорья Алтая. Наиболее существенны изменения в рядах максимальной продолжительности сухих периодов (*CDD*), а также индекса суточной интенсивности осадков (*SDII*) и количества дней с осадками более 20 мм/сутки (*R20mm*).

По результатам проверки методом *EV*-диаграммы пентадной суммы осадков (*R5d*) каких-либо изменений за рассматриваемый период не наблюдается, за исключением 1-го кластера, состоящего из одной станции Кош-Агач. Напротив, повторяемость пентадной суммы осадков *R5d* по оценке обеспеченности увеличилась во втором классе, объединяющей центральную и южную территории Западной Сибири. Проведенные исследования подтверждают факт изменений режима атмосферных осадков на территории равнинного и среднегорного Алтая.

Библиографический список

1. Анисимов О.А., Израэль Ю.А. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2008. 288 с.
2. Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика, 2001. 228 с.
3. Букреева Г.Ф. Климат Западной Сибири: в прошлом и будущем // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 11. С. 3–22.
4. Волкова М.А., Огурцов Л.А. Пространственно-временная структура экстремальных годовых значений температуры воздуха и атмосферных осадков на севере Западной Сибири // Арктика. XXI век. 2015. №1(2). С. 56–61.
5. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008 году: государственный доклад. М.: МЧС России; ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009, 2010, 2014, 2015.
6. Грингоф И.Г. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. III. Ч. 1. Основы агроклиматологии. Ч. 2. Влияние изменений климата на экосистемы, агросферу и сельскохозяйственное производство. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 384 с.
7. Дубровская Л.И., Князев Г.Б. Компьютерная обработка естественно-научных данных методами многомерной прикладной статистики: учеб. пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2011. 120 с.
8. Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. Т. 1. С.84–103. DOI: 10.21513/2410-8758-2016-1-84-103.
9. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 248 с.
10. Кокорин А.О. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF России), 2011. 168 с.
11. Коршунов А.А., Коршунова Н.Н. Чрезвычайные ситуации в России, связанные с неблагоприятными условиями погоды в 2009, 2010, 2014, 2015 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/118-chrezvychajnye-situatsii-v-rossii/401-chrezvychajnye-situatsii-v-2009-godu> (дата обращения: 06.10.2016).
12. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы: учебник для вузов по направлению «Гидрометеорология» и специальности «Метеорология». СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 777 с.

13. Огурцов Л.А., Чердыко Н.Н., Волкова М.А., Журавлев Г.Г. Динамика показателей экстремальности климата на территории Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2016. Т. 29. №08. С. 633–639.
14. Пановский Г.А. Статистические методы в метеорологии. Л.: Гидромет. изд-во, 1967. 241 с.
15. Пицальникова Е.В., Калинин Н.А. Условия формирования и прогноз обильных снегопадов в Пермском крае / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. 186 с.
16. Поляков Д.В., Кужевская И.В. Применение кластерного анализа для оценки температурно-влажностных условий в период активной вегетации на территории юга Западной Сибири и его связь с гидротермическим коэффициентом Т.Г. Селянинова // *Вестник Томского государственного университета*. 2012. №360. С. 188–192.
17. *Российский гидрометеорологический портал ВНИИГМИ-МЦД*. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo.ru> (дата обращения: 15.10.2014).
18. Шаранова А.А., Кужевская И.В. Разномасштабная цикличность индексов экстремальности климата на территории Алтайского региона // *Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. СПб., 2016. №580. С. 199–217.
19. *Framework Programme: Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions (STARDEX)*. (1999). URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/star dex/> (дата обращения: 15.11.2014).
20. Kegenhoff I., Elizabarashvili M., et al. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010 // *Weather and climate extremes*. 2014. №4. P. 75–85.
21. Kusunoki S., Mizuta R., Hosaka M. Future changes in precipitation intensity over the Arctic projected by a global atmospheric model with a 60-km grid size // *Polar Science*. 2015. №9. P. 277–292.
22. Milanovic M., Gocic M., Trajkovic S. Analysis of extreme climatic indices in the area of Nis and Belgrade for the period between 1974 and 2003 // *Agriculture and agricultural science procedia*. 2015. №4. P. 408–415.

References

1. Anisimov O. A., Izrael' Yu. A. (2008), *Otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in Russian Federation], Moscow, Russia.
2. Afanas'ev, V.N. (2001), *Analiz vremennykh riadov i prognozirovaniye* [Time series analysis and forecasting], *Finansy i statistika*. Moscow, Russia.
3. Bukreeva, G. F. (1995), “*Klimat Zapadnoy Sibiri: v proshlom i buduschem*” [The Climate of Western Siberia: The Past and Future], *Russian Geology and Geophysics*, vol. 36, no 11, pp. 3–22.
4. Volkova M.A., Ogurtsov, L.A. (2015), Spatio-temporal structure of extreme annual values of air temperature and precipitation in the Northern part of Western Siberia. *Arctic XXI century.. no.1(2)*, pp. 56–61. (In Russian).
5. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii zashchity naseleniya i territoriy Rossiyskoy Federatsii ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera v 2008* [National Report On The State Of Population And Territory Of The Russian Federation Of Natural And Man-Made Disasters In 2008]. –M.: MChS Rossii, 2009, 2010, 2014, 2015.
6. Gringof, I.G. (2013), *Osnovy sel'skohoziastvennoi meteorologii. Tom III. Osnovy agrolkimatologii. Chast' 2. Vliyaniye izmeneniy klimata na ekosistemy, agrosferu i sel'skohozyaystvennoye proizvodstvo*. [Fundamentals of agricultural meteorology. Vol.1. Fundamentals of agricultural climatology. Part 2. The impact of climate change on ecosystems, agriculture and agrosfera], All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Centre, Obninsk, Russia.
7. Dubrovskaya, L.I. and Knyazev G.B. (2011), *Komp'yuternaya obrabotka estestvenno-nauchnykh dannykh metodami mnogomernoy prikladnoy statistiki : uchebnoye posobie*, TML-Press, Tomsk., Russia.
8. Zolina, O.G. and Bulygina, O.N. (2016), Modern climate variability characteristics of extreme precipitation events in Russia. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol.1. pp. 84–103.
9. Isaev, A.A. (1988) *Statistika v meteorologii i klimatologii* [Statistics in meteorology and climatology]. Moscow State University, Moscow, Russia.
10. *Izmeneniye klimata i ego vozdeystvie na echosistemy, naseleniye i khozyayjskoystvo rossiyskoy chaste Altae – Sayanskogo echoregiona : ocenochniy doklad / pod red. A. O. Kokorina; Vsemirnyi fond dikoy prirody (WWF)*. – M. 2011.

11. Korshunov, A.A., Korshunova, N.N., "Emergencies in Russia related to adverse weather conditions in 2009, 2010, 2014, 2015", available at: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/118-chrezvychajnye-situatsii-v-rossii/401-chrezvychajnye-situatsii-v-2009-godu> (accessed 6 Oct. 2016).
12. Matveev, L.T. *Fizika atmosfery: Uchebnik dlya vuzov po napravleniyu «Gidrometeorologiya» i special'nosti «Meteorologiya»* [Atmospheric Physics: A Textbook for high schools in the direction of «Hydrometeorology» and specialty «Meteorology»]. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 2000. 777 p.
13. Ogurtsov L.A., Cheredko N.N., Volkova M.A., Zhuravlev G.G. Dynamics of climate extremes in Western Siberia. // *Optika Atmosfery i Okeana*. 2016. vol. 29. no. 08. pp. 633–639 (in Russian).
14. Panofsky, H.A. (1967), *Statistical Methods in Meteorology*. Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR.
15. Pishal'nikova E.V. and Kalinin N.A. (2016), *Usloviya formirovaniya i prognoz obil'nyh snegopadov v Permskom krae: monografiya* [Formation conditions and forecast heavy snowfall in the Perm region: monograph], PSNRU Perm, Russia.
16. Polyakov, D.V. and Kuzhevskaya, I.V. (2012), Use of cluster analysis for assessing heat and moisture during active vegetation in south of Western Siberia and its relation to T.G. Selyaninov hydrothermal coefficient. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*. no. 360. pp.188 – 192.
17. Rossiiskii gidrometeorologicheskii portal: *Elektronnaya baza meteorologicheskikh dannykh mezhdunarodnogo obmena VNIIGMTsD* [Russian Hydrometeorological portal: Electronic database of meteorological Data for international exchange RIHMI–WDC World Data Center]. Available at: <http://www.meteoinfo.ru> (accessed 15 Oct. 2014).
18. Sharapova, A.A., Kuzhevskaya, I.V. (2016) Multi-scale recurrence of indexes of extremeness of climate in the territory of the Altai region. *Trudy glavnoy geofizicheskoi observatory imeni A.I. Voeykova*. – St.Petersburg, no.580. pp.199–217.
19. *Framework Programme: Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions (STARDEX)*. (1999). Available at: <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/> (accessed 15 Nov. 2014).
20. *Keggenhoff I., Elizabarashvili M., et al.* Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971 - 2010 // *Weather and climate extremes*. 2014. №4. P. 75 – 85.
21. *Kusunoki S., Mizuta R., Hosaka M.* Future changes in precipitation intensity over the Arctic projected by a global atmospheric model with a 60- km grid size // *Polar Science*. 2015. № 9. - P. 277-292
22. *Milanovic M., Gocic M., Trajkovic S.* Analysis of extreme climatic indices in the area of Nis and Belgrade for the period between 1974 and 2003 // *Agriculture and agricultural science procedia*. 2015. №4. P. 408 – 415.

Поступила в редакцию: 08.02.2017

Сведения об авторах

About the authors

Шарапова Алена Александровна

аспирант кафедры метеорологии и климатологии
Томского государственного университета;
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

e-mail: alena@issnet.ru

Alena A. Sharapova

Postgraduate Student, Department of Meteorology
and Climatology, Tomsk State University;
36, Lenina st., Tomsk, 634050, Russia;

Кужевская Ирина Валерьевна

кандидат географических наук, доцент кафедры
метеорологии и климатологии геолого-
географического факультета Томского
государственного университета;
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36;

e-mail: ivk@ggf.tsu.ru

Irina V. Kuzhevskaya

Candidate of Geographical Sciences, Associated
Professor, Department of Meteorology and
Climatology, Tomsk State University;
36, Lenina st., Tomsk, 634050, Russia;

Каштанова Ксения Алексеевна

магистр кафедры метеорологии и климатологии
Томского государственного университета;
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36;

e-mail: kashtanova.ksieniia@mail.ru

Ksenya A. Kashtanova

Master's Student, The Department of Meteorology
and Climatology, Tomsk State University;
36, Lenina st., Tomsk, 634050, Russia;

Поляков Денис Викторович

кандидат географических наук, ассистент
кафедры метеорологии и климатологии Томского
государственного университета;
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36;

Denis V. Polyakov

Candidate of Geographical Sciences, Assistant,
Department of Meteorology and Climatology,
Tomsk State University;
36, Lenina st., Tomsk, 634050, Russia;
e-mail: denissinoptik1988@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Шарапова А.А., Кужевская И.В., Каштанова К.А., Поляков Д.В. Характеристики экстремальных осадков на территории Западной Сибири // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №3(42). С. 88–98. doi 10.17072/2079-7877-2017-3-88-98

Please cite this article in English as:

Sharapova A.A., Kuzhevskaya I.V., Kashtanova K.A., Polyakov D.V. Characteristics of heavy precipitation in Western Siberia // Geographical bulletin. 2017. № 3(42). P. 88–98. doi 10.17072/2079-7877-2017-3-88-98