

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 504.38

М.А. Волкова, Н.Н. Чередыко, К.И. Соколов, Л.А. Огурцов

СОВРЕМЕННАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ПОЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости экстремальных характеристик режима осадков на территории Западной Сибири, в том числе с применением компонентного и кластерного анализов. Рассчитаны характеристики: среднее многолетнее число дней с осадками ≥ 5 и ≥ 15 мм/24 ч, повторяемость дней с осадками за месяц и за год, максимальная непрерывная продолжительность периодов с экстремальными осадками, изменение режима осадков за период 1981–2010 гг. по отношению к периоду 1951–1980 гг. Выявлены классы в поле числа дней с осадками заданных критериев, распределение которых достаточно хорошо согласуется с распределением средних многолетних значений числа дней.

Ключевые слова: Западная Сибирь; экстремальные атмосферные осадки; число дней; кластерный анализ.

Один из важнейших вопросов в проблеме изменения климата – оценка изменчивости экстремальных климатических параметров на фоне изменения их средних значений. Ряд исследователей отмечают, что на фоне глобального потепления последних десятилетий произошло увеличение повторяемости экстремальных проявлений климатического режима большинства территорий [1, 2]. В частности, работы последних лет по оценкам изменения экстремальных осадков в разных частях мира: в Австралии [3], Италии [4], на западе Германии [5], на северо-востоке Пиренейского полуострова [6], в России [7] и др., – показали, что наблюдения свидетельствуют об увеличении частоты и интенсивности различных видов экстремальных осадков в течение последних нескольких десятилетий. Приводятся данные о перераспределении в динамике климатических полей. Так, например, при постоянстве сезонных сумм осадков изменяются их частота и продолжительность. Фиксируется изменение годовой амплитуды осадков для глобальных средних за исключением внутритропической зоны [8].

Экстремально интенсивные осадки приводят к затоплениям городских и сельскохозяйственных территорий, размывам дорожного полотна, оползням, а также трудно прогнозируемым дождевым паводкам на реках. Интенсивные или продолжительные осадки в виде снега блокируют движение коммунального и частного транспорта, передвижение пешеходов, затрудняют деятельность большинства предприятий. Значительный рост экстремальных характеристик климата на фоне малого роста средних величин может усугублять соответствующие риски. Такая «раскачка» крайне негативна для любых социальных и хозяйственных систем. Приспособление социума к изменяющимся условиям режима атмосферных осадков возможно на основе оценки происходящих изменений, оценки уязвимости и возможностей адаптации разных подсистем био- и техносферы к критическим уровням климатических воздействий. Особо важен такой анализ в региональных масштабах, так как крайне высока пространственная и временная изменчивость формирования экстремальных явлений погоды. При этом, например, если «потепление климата»

непосредственно предполагает сдвиг распределения температуры приземного воздуха в область более высоких значений, то в вопросе с атмосферными осадками все гораздо сложнее и, чаще, неочевидно. С этим связано и то, что пространственно-временные структурные изменения в поле осадков воспроизводятся современными глобальными климатическими моделями с большими приближениями.

Целью данной работы является оценка пространственной структуры и динамики поля экстремальных атмосферных осадков на территории Западной Сибири. Для оценки экстремальности режима осадков обычно используется ряд критериев и индексов, таких как максимальная сумма осадков за сутки, суточный индекс интенсивности осадков, значения суточных сумм осадков, соответствующие границам 90%-го и 95%-го интервалов ранжированного ряда, максимальная продолжительность периодов с осадками и без осадков и др. Например, в работе [9] для территории Западной Сибири были рассчитаны характеристики периодов с осадками и без осадков непрерывной продолжительности различных критерияльных сумм (≥ 5 и ≥ 10 мм) отдельно для теплого и холодного периодов. Следует отметить, что при изучении экстремальности осадков и, в частности, опасных явлений обычно используются критерии ≥ 50 мм/12 ч – «Очень сильный дождь», ≥ 20 мм/12 ч «Очень сильный снег» [10]; но при попытке использования данных критериев выяснилось, что число таких дней единичные, встречается в отдельные годы и не на каждой станции, закон распределения полученного ряда данных отличается от нормального. В этой связи дальнейший анализ предложенными методами был невозможен.

В данной работе использованы следующие критерии:

- число дней с осадками ≥ 15 мм – Q^{15} ;
- число дней с осадками ≥ 5 мм при отрицательной среднесуточной температуре – Q^5 .

В годовом ходе число дней с осадками ≥ 15 мм на более чем 90% станций на рассматриваемой территории наблюдается в теплом периоде (с максимумом в июле–августе) и соответствует числу сильных дождей. Максимум атмосферных осадков за год отмеча-

ется именно в эти месяцы, несмотря на уменьшение циклональной деятельности в летний период над Западной Сибирью, происходит усиление притока влажного воздуха с запада, и осадки часто выпадают в виде ливней.

Число дней с осадками ≥ 5 мм, рассчитанное с учетом температуры воздуха – при отрицательной среднесуточной температуре, соответствует числу достаточно сильных снегопадов; 5 мм в сутки при обычной плотности свежего снега соответствует слою 5 см снега, что равно критерию, при достижении которого должна начинаться уборка снега с улиц и дорог. В годовом ходе данная характеристика чаще всего отмечается в октябре (преимущественно на территории севернее 60°с.ш.) и в ноябре (на территории южнее 60°с.ш.). В целом первые два месяца холодного периода характеризуются большой циклоничностью, по сравнению со второй ее половиной, которая отличается холодной и ясной антициклональной погодой, лишь при прохождении циклонов прерываемая кратковременными потеплениями с возможными осадками.

Материалом для исследований послужил банк точных метеорологических данных, созданный во Всероссийском научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации – Мировом центре данных ВНИИГМИ-МЦД [11]. Количественные оценки были получены по данным о количестве осадков за период 1951–2010 гг. для 45 станций, расположенных на территории Западной Сибири.

Для каждого из выбранных критериев по станциям на рассматриваемой территории были рассчитаны следующие характеристики: среднее многолетнее число дней с осадками выбранных градаций, повторяемость таких дней за месяц и год; максимальная непрерывная продолжительность периодов с экстремальными осадками.

Для оценки изменения рассчитанных показателей период 1951–2010 гг. был разбит на два 30-летних периода: 1951–1980 и 1981–2010 гг. соответственно. На каждой станции вычислялась разница между средними значениями за периоды 1951–1980 и 1981–2010 гг. по каждому показателю. Выбор 30-летних периодов обусловлен наличием достоверных рядов за последние 60 лет на большей части станций, а также возможностью принять период 1951–1980 гг. за базовый, когда в среднем по России не происходило значимых изменений климата [7].

Выяснение статистической значимости полученных различий проводилось с помощью пакета *Statistica* на основе *t*-критерия Стьюдента. Для применения данного критерия необходимо выполнение условия о принадлежности исследуемого ряда нормальному закону распределения. В ходе проверки этого условия (на основе критерия согласия Колмогорова–Смирнова, Лиллиефорса, Шапиро–Уилкса) принадлежность рядов данных к нормальному распределению подтвердилась.

За 60-летний период рассматриваемые критерии в годовой повторяемости не превышают 3,3% для Q^5 и 1,5% для Q^{15} , что составляет 13 и 5 дней в году соот-

ветственно. Максимальная непрерывная продолжительность периода с осадками более 5 мм при отрицательной среднесуточной температуре на большей части территории составляет 3–4 дня, период 5 дней отмечен на северных станциях (Диксон, Дудинка, Саранпауль). Для критерия «число дней с осадками ≥ 15 мм» максимальная непрерывная продолжительность также не превышает 5 дней (Ивдель) при среднем значении по территории 2–3 дня.

Анализ распределения среднего годового числа дней с осадками более 5 мм при отрицательной температуре воздуха за период 1981–2010 гг. (рис. 1, а) показал, что максимальное число таких дней наблюдается на востоке территории, а именно в очагах: станция Дудинка (более 13 дней в году), Верхнеимбатск (более 11 дней в году). Минимальное число дней отмечается на северо-западе на станциях Марресалы (менее 5 дней в году), Ныда, Новый Порт, Мыс Каменный (менее 6 дней в году). На юге территории отмечается квазизональное распределение изолиний с уменьшением числа дней в южном направлении. Таким образом, уменьшение частоты сильных снегопадов происходит с востока территории в направлении на северо-запад и на юг.

Оценка динамики числа дней с осадками более 5 мм показала, что по сравнению с 1951–1980 гг. в распределении Q^5 (рис. 1, б) за 1981–2010 гг. на большей части территории произошло увеличение числа дней с осадками в среднем на 1–2 дня в году. Выделяется станция Тазовск, на которой изменение между двумя выбранными периодами составило более 10 дней. Факт такого существенного роста Q^5 на станции Тазовск, не отличавшейся до 1980 г. высокой повторяемостью сильных осадков при отрицательной температуре, связан с нарушением статистической однородности ряда. С 1990 г. на данной станции произошло резкое увеличение (в 2 и более раз) числа дней с критерием Q^5 , а также в целом годовых сумм осадков. Интенсивность такого увеличения не следует считать климатически обусловленной. Данный вопрос требует более подробного исследования причин подобного поведения ряда и сопоставления с близлежащими станциями, информация с которых пока отсутствует в используемой базе данных.

Пространственное распределение среднего многолетнего показателя Q^{15} за период 1981–2010 гг. по территории исследования характеризуется квазизональным увеличением значений в направлении от севера к югу (рис. 2, а) до 60°с.ш. с последующим некоторым снижением к 55°с.ш. Минимальные значения отмечаются на крайнем севере территории, на станциях Марресалы, Мыс Каменный и Новый Порт (менее 1–1,5 дня в год), максимальное число сильных дождей – на юго-западе территории, станция Ивдель (более 5,5 дня в год). Следует отметить, что область повышенных значений Q^{15} в районе 60°с.ш. совпадает с областью повышенных годовых сумм осадков, формируемой наиболее активной циклонической деятельностью, способствующей переносу влажного атлантического воздуха.

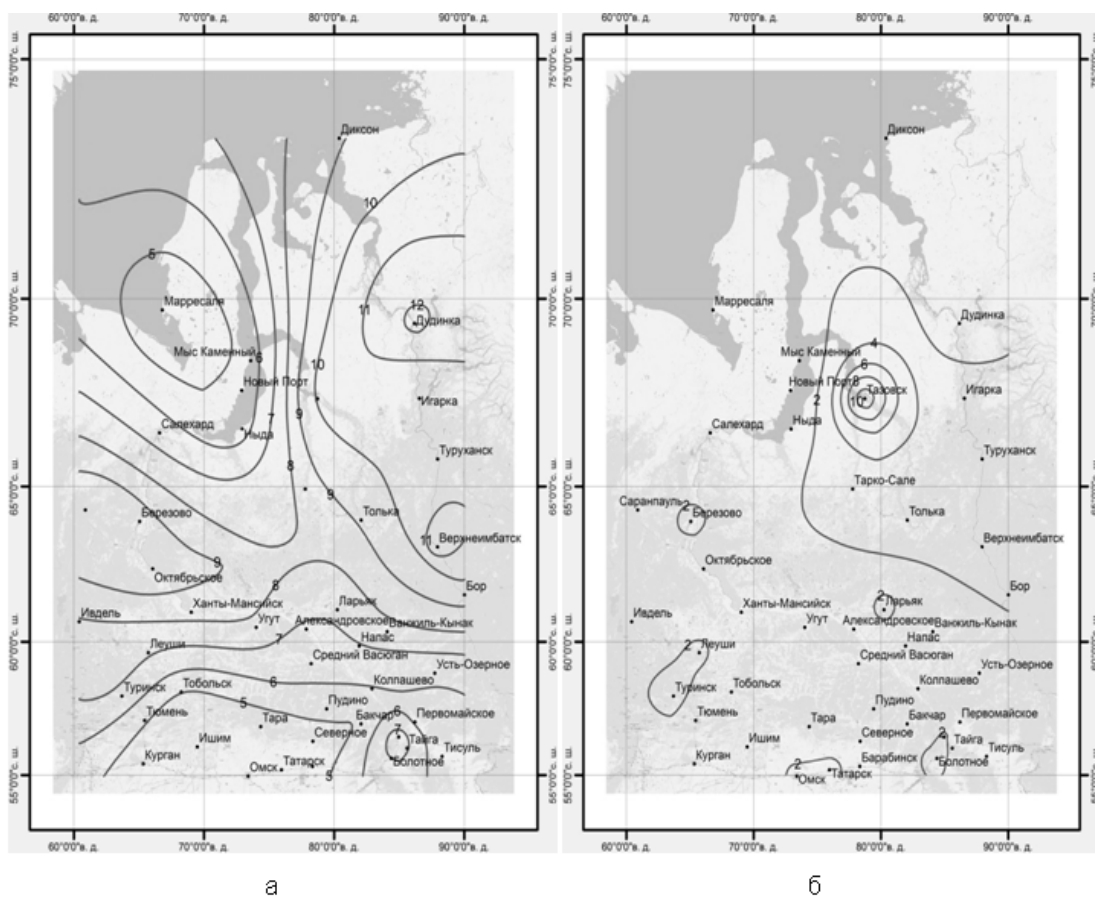


Рис. 1. Распределение изменения среднего годового числа дней с осадками ≥ 5 мм при отрицательной температуре воздуха: за 1981–2010 гг. (а); изменения 1981–2010 гг. по отношению к 1951–1980 гг. (б)

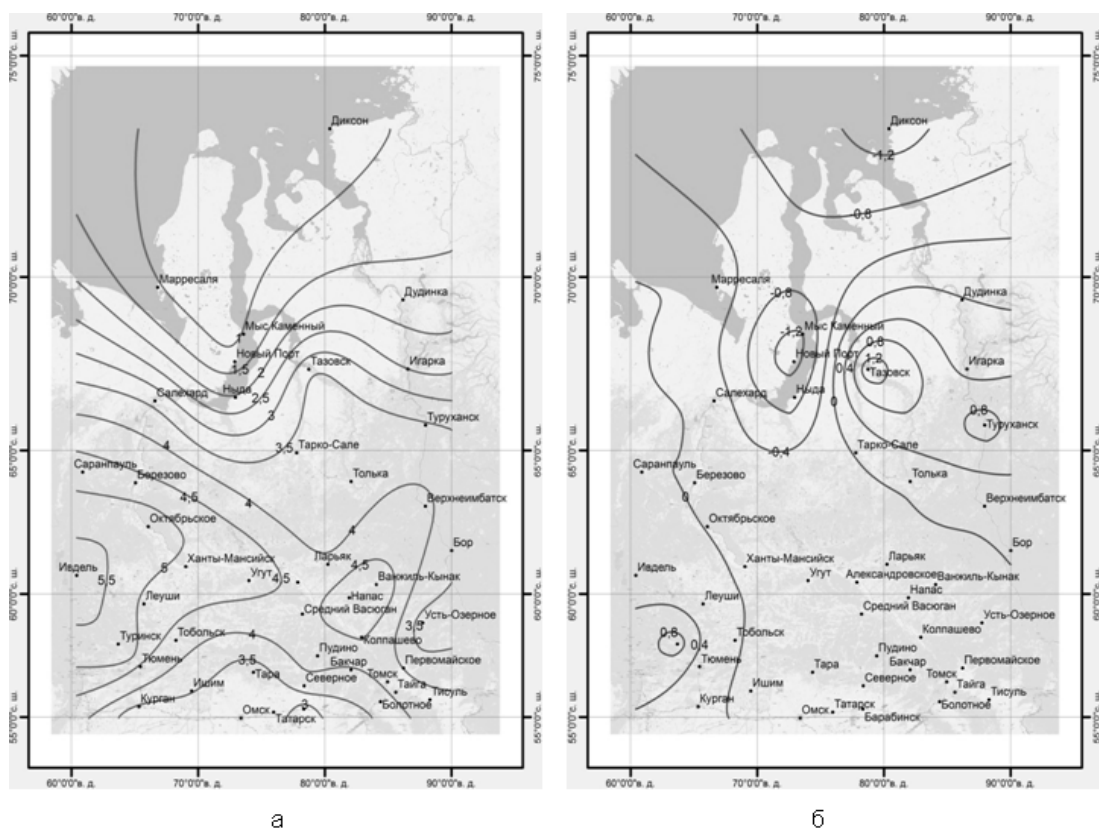


Рис. 2. Распределение изменения среднего годового числа дней с осадками ≥ 15 мм: за 1981–2010 гг. (а); изменения 1981–2010 гг. по отношению к 1951–1980 гг. (б)

Анализ распределения изменений критерия Q^{15} в 1981–2010 гг. по сравнению с 1951–1980 гг. (рис. 2, б), показал наличие разнонаправленных тенденций: зоны роста показателя в восточной части территории и зоны его уменьшения в районе Обской губы и на крайнем севере территории. Максимальное увеличение числа дней наблюдается на станции Тазовск и составляет 1,6 дня / год. Также стоит отметить очаг роста на станции Туруханск, здесь значение составляет 1,2 дня / год. Более чем на 1,2 дня / год уменьшилось число дней с осадками более 15 мм на станциях Диксон, Мыс Каменный и Новый Порт. На остальной территории (за исключением юго-запада, где на станции Туринск отмечается рост числа дней с сильными осадками более чем на 0,8 дней / год) значимых изменений не выявлено.

Чтобы оценить, насколько согласованно изменяются критерии Q^5 и Q^{15} по территории, был применен метод главных компонент, предложенный для использования в таком качестве авторами [12]. Данный метод позволяет оценивать синхронность в изменениях различных характеристик климата, что, в свою очередь, дает возможность выявлять ведущие факторы в их изменчивости. То есть при условии высокой согласованности в динамике рассмотренных показателей по территории можно утверждать, что эти изменения представляют собой отклик на процессы глобальных масштабов. Задача компонентного анализа состоит в преобразовании исходных характеристик в главные компоненты, дисперсия которых равна дисперсии исходного ряда. Для адекватного описания исходного ряда считается достаточным такое количество главных компонент, общий вклад которых в суммарную дисперсию составляет более 80% [13].

Компонентный анализ критериев экстремальности режима осадков исследуемой территории показал его высокую неоднородность. Что можно связать со значительным определяющим влиянием местных условий станции на режим осадков, большой протяженностью территории с севера на юг и преобладанием различных форм атмосферной циркуляции над разными ее частями, прежде всего особенностями циклонической активности. Доля объясненной двумя первыми компонентами изменчивости осадков составляет всего 28–35%. Таким образом, можно заключить, что изменения в режиме осадков Западной Сибири лишь на треть определяются глобальными событиями в климате. Для построения моделей поля атмосферных осадков данной территории необходимо усиливать вычислительные технологии, учитывающие местные условия.

Далее была поставлена задача выявить районы в Западной Сибири, схожие между собой по вариационности критериев Q^5 и Q^{15} . С этой целью значения ряды критериев были подвержены процедурам кластеризации с последующим получением вариантов классификации. Кластерный анализ позволяет естественно структурировать исходные данные, на различающиеся по степени согласованности изменений группы станций. Для кластеризации использовали метод k-средних (k-mean) и метод восходящей иерархической

классификации. Суть метода k-средних заключается в поиске такого разбиения на классы, при котором дисперсия разбиения максимальна для заданного числа классов. Для оценки качества классификации используются расчетные характеристики – внутриклассовое расстояние (расстояние до центра класса за каждый год и среднее) и Евклидовы расстояния между классами. При этом качественное разделение на классы достигается при условии, что внутриклассовые расстояния меньше межклассовых. В процессе классификации методом k-средних необходимо задавать число выделяемых классов, что на первоначальном этапе исследования нам не известно. Выбранное случайным образом число кластеров может привести к некорректным результатам. Поэтому для анализа данных на первоначальном этапе был применен метод восходящей иерархической классификации, идея которого заключается в последовательном объединении близких по каким-либо признакам кластеров путем построения бинарного «перевернутого дерева» иерархии классов [14]. Алгоритм применения классификации для климатологических полей подробно описан в [15, 16].

Самый верхний из полученных классов распределения (рис. 3, 4), завершающий иерархию, идентичен среднему всей выборки. При спуске по ветвям дендрограммы структуры детализируются согласно региональным мезоклиматическим особенностям. И так до некоторого уровня, когда следует останавливать процесс кластеризации, так как более мелкие структуры уже не будут значимыми как физически, так и статистически.

Применение иерархического кластерного анализа для классификации Q^5 (рис. 3) первоначально показало выделение двух классов при пороговом расстоянии 270, в одном из которых при пороговом расстоянии 80 сформировались дополнительно 2 таксона, а также 3 обособленные станции (Диксон, Дудинка и Тазовск).

Для определения целесообразности трех полученных классов был применен метод k-средних. При исключении из классификации 3 указанных станций, наилучшие результаты при использовании метода k-средних также были получены при делении рассматриваемой территории на 3 класса. При этом Евклидово расстояние между 1-м и 2-м классами составило 9,1, между 1-м и 3-м – 9,3, между 2-м и 3-м – 32,9. Деление территории на 3 класса соответствует необходимым условиям: межклассовые расстояния больше, чем внутриклассовые (среднее расстояние до центра класса в табл. 1), условие плотности классов соблюдается.

Визуальная оценка таксонов, полученных для критерия Q^{15} (рис. 4), показала, что выделяются устойчиво 3 либо 4 таксона при пороговом расстоянии 60 и 40 соответственно.

Применение метода k-средних позволило оценить целесообразность полученных классов. Анализ при делении на 3 и 4 таксона и сравнении рассчитанных соответствующих внутриклассовых и межклассовых расстояний показал, что разделение на четыре таксона нарушает условие плотности классов. Деление территории на 3 таксона соответствует необходимым усло-

виям: межклассовые расстояния больше, чем внутри-классовые. Евклидово расстояние между первым и вторым классами составило 11,3, между 1-м и 3-м – 5,1,

между 2-м и 3-м – 2,6. Таким образом, в поле Q^{15} выделено также три класса станций с оптимальной согласованностью изменений этого параметра (табл. 1).

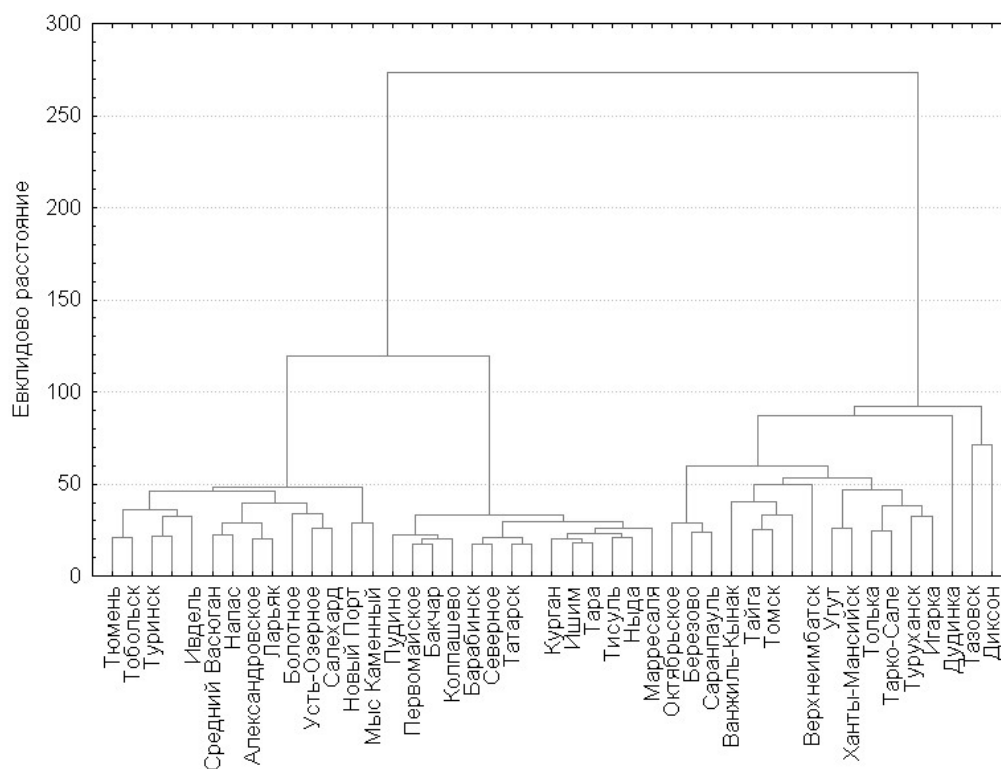


Рис. 3. Дендрограмма иерархического кластерного анализа числа дней с осадками ≥ 5 мм при отрицательной температуре на территории Западной Сибири на основе метода Уорда (Ward's method)

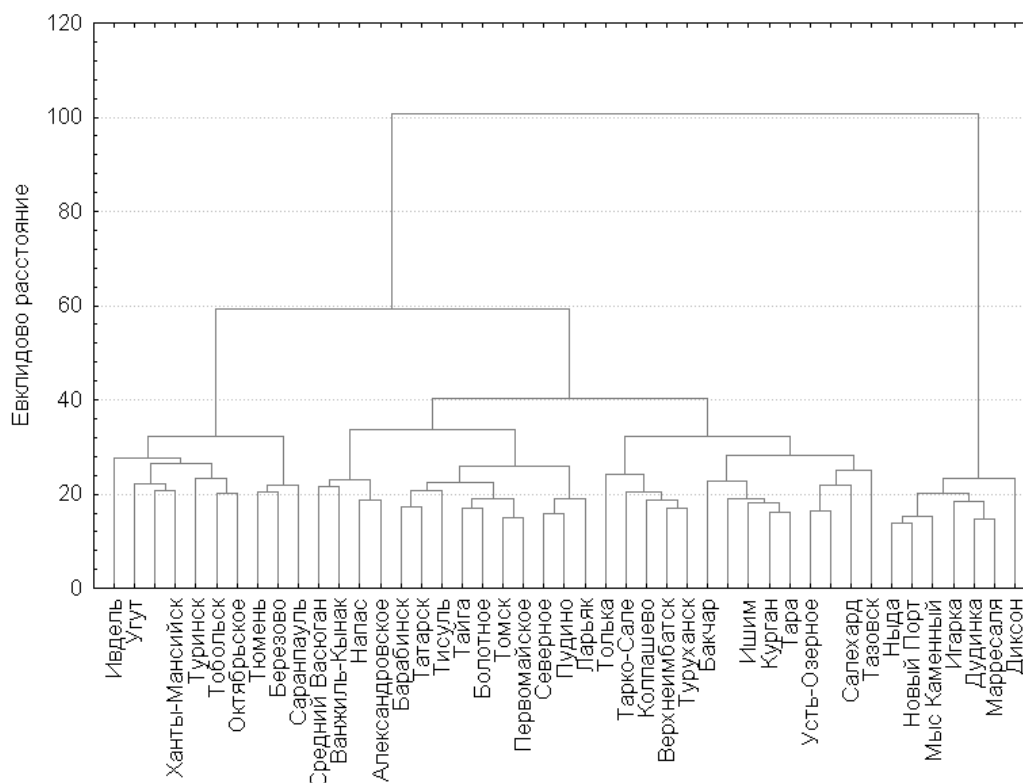


Рис. 4. Дендрограмма иерархического кластерного анализа числа дней с осадками ≥ 15 мм на территории Западной Сибири на основе метода Уорда (Ward's method)

**Характеристика классов числа дней с осадками ≥ 5 мм
при отрицательной среднесуточной температуре и числа дней с осадками ≥ 15 мм**

Критерий	Номер класса	Среднее расстояние до центра класса	Станции
Q^5	1	2,9	Мыс Каменный, Новый Порт, Игарка, Салехард, Тарко-Сале, Толька, Ларьяк, Ивдель, Ханты-Мансийск, Леуши, Туринск, Напас, Ср. Васюган, Усть-Озёрное, Александровское, Болотное, Тайга
	2	2,1	Марресалья, Ныда, Тобольск, Тюмень, Тара, Ишим, Курган, Колпашево, Омск, Пудино, Бакчар, Первомайское, Северное, Тисуль, Татарск, Барабинск
	3	3,2	Березово, Верхнеимбатск, Октябрьское, Бор, Угут, Ванжиль-Кынак, Томск, Саранпауль, Туруханск
Q^{15}	1	1,5	Диксон, Марресалья, Дудинка, Игарка, Новый Порт, Мыс Каменный
	2	2,07	Саранпауль, Березово, Тюмень, Октябрьское, Ивдель, Ханты-Мансийск, Угут, Леуши, Тобольск, Туринск
	3	1,96	Тазовск, Салехард, Ныда, Туруханск, Тарко-Сале, Толька, Верхнеимбатск, Ларьяк, Бор, Александровское, Ванжиль-Кынак, Тара, Ишим, Курган, Омск, Напас, Ср. Васюган, Усть-Озёрное, Колпашево, Пудино, Бакчар, Первомайское, Северное, Томск, Болотное, Тайга, Тисуль, Татарск, Барабинск

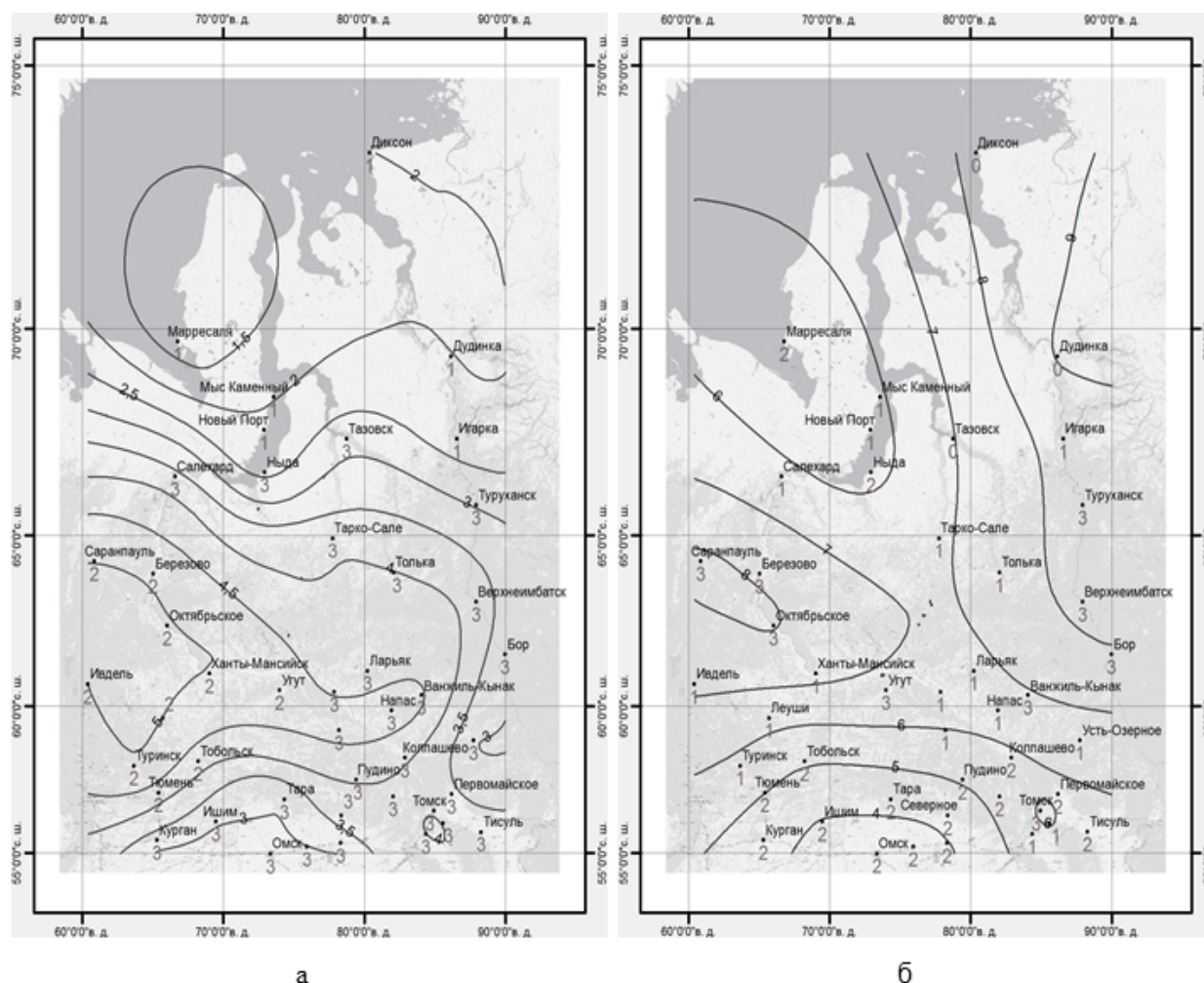


Рис. 5. Распределение классов на основе метода k-средних: а – для критерия Q^5 , б – для критерия Q^{15}

Результаты формальной классификации представлены на рис. 5 (а, б). На карту классов наложены изолинии средних за период 1951–2010 гг. числа дней с осадками заданных градаций.

На рис. 5, а видно, что распределение классов достаточно хорошо согласовано с распределением средних многолетних значений рассматриваемых

критериев. Первый класс Q^{15} (рис. 5, а) характеризует станции непосредственно побережья Карского моря и прибрежные к нему. За режим осадков этой части территории отвечают, чаще всего, северо-западные и западные циклоны [17, 18]. Станции западной части территории вошли во 2-й класс. Наиболее многочисленный 3-й класс включает

станции, характеризующиеся средними уровнями показателя Q^{15} – 3–4 дня/год. На данной территории наиболее часто интенсивные осадки в теплое время года формируются под влиянием южных и местных циклонов [19].

В холодное полугодие (рис. 5, б) пространственная конфигурация выделенных классов имеет сложную структуру, согласованность с распределением средних многолетних значений выражена меньше по сравнению с полем критерия Q^{15} . Однако выделяются некоторые закономерности в распределении классов. Явно просматривается высокая географическая лока-

лизация 2-го класса, соответствующего в климатическом плане району с умеренным увлажнением. Через данную часть территории происходят выходы юго-западных циклонов, приносящие резкие изменения погоды [17] и интенсивные осадки. Третий класс в целом соответствует областям повышенного среднего годового количества Q^5 .

После выделения классов был проведен компонентный анализ в каждом из них. Получено (табл. 2), что доля объясненной дисперсии первыми двумя компонентами возрастает при выборе менее крупных территорий.

Т а б л и ц а 2

Результаты компонентного анализа числа дней с осадками до и после проведения процедуры классификации

Критерий	Доля объясненной дисперсии, %				
	до проведения классификации		после проведения классификации		
	1-я компонента	2-я компонента	Классы	1-я компонента	2-я компонента
Q^5	19,2	15,5	1	34,0	11,0
			2	29,5	15,5
			3	43,0	14,5
Q^{15}	20,4	7,1	1	34,0	26,6
			2	24,0	15,9
			3	13,7	9,8

Так, суммарная доля объясненной дисперсии полей критериев Q^{15} и Q^5 при выборе всей территории Западной Сибири не превышает 28 и 35% соответственно. При учете результатов разбиения на классы доля объясненной дисперсии возрастает до 40–60%, т.е. проведенная классификация отражает увеличение синхронности при уменьшении масштаба территории. Исключение составляет 3-й класс критерия Q^{15} , включающий в себя 29 из 45 станций, где доля объясненной дисперсии суммы двух компонент уменьшается до 23%. Большая наполненность выделенного класса и объясняет многофакторность обеспечения дисперсии ряда числа дней с осадками ≥ 15 мм, величины, формируемой преимущественно ливневыми осадками, формирование которых зависит, в физическом смысле, от комплекса факторов, отражающих как циркуляционные процессы синоптического масштаба, так и местные условия увлажнения.

Таким образом, для выявления общих факторов в изменчивости поля критерия Q^{15} необходимо дополнительное деление 3-го класса на более мелкие таксоны. Дендрограмма иерархического кластерного анализа критерия Q^{15} (рис. 4) позволяет принять решение о понижении порогового значения до 30 при выделении классов. В этом случае происходит «расслоение» 3-го класса на мелкие таксоны, что позволяет получить более локальные оценки критерия «число дней с осадками ≥ 15 мм», при этом 2-й класс также распадается на две самостоятельные группы. Понижение порогового значения и объединение в мелкие таксоны приводят к потере качества результатов классификации. Можно говорить о некотором едином математическом пространстве, занимаемом 3-м классом, в котором превалирует более двух факторов, обеспечивающих изменчивость.

Предложенный подход в оценке пространственно-временной структуры поля атмосферных осадков с использованием кластерного анализа и метода глав-

ных компонент позволяет, с одной стороны, выявить схожие между собой совокупности по нескольким признакам и факторам, с другой – снизить размерность признакового пространства и сформировать ряды данных для дальнейшего анализа временной структуры без потери информации о взаимосвязи между переменными.

В результате приведённых исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Число дней с осадками ≥ 15 мм на более чем 90% станций на рассматриваемой территории наблюдается преимущественно в теплый период и соответствует числу ливневых дождей. Число дней с осадками ≥ 5 мм, рассчитанное с учетом температуры воздуха – при отрицательной среднесуточной температуре, соответствует, как правило, числу сильных снегопадов.

2. Число дней с осадками в пределах рассматриваемых критериев не превышает 3,3% от годовых значений для числа дней с осадками ≥ 5 мм для холодного периода и 1,5 % для числа дней с осадками ≥ 15 мм для теплого периода.

3. Максимальная непрерывная продолжительность числа дней с осадками ≥ 5 мм при отрицательной среднесуточной температуре не превышает 5 дней при среднем значении на большинстве станций 3–4 дня. Для критерия «число дней с осадками ≥ 15 мм» максимальная непрерывная продолжительность также составляет 5 дней при среднем значении по территории 2–3 дня.

4. На большей части территории число дней с осадками ≥ 5 мм за 1981–2010 гг. по сравнению с 1951–1980 гг. увеличилось на 1–2 дня в году. Анализ распределения изменений числа дней с осадками ≥ 15 мм в 1981–2010 гг. по сравнению с 1951–1980 гг. показал наличие разнонаправленных тенденций в пределах 1,5 дней в году: зоны роста показателя в восточной части территории и зоны его уменьшения в районе Обской губы и на крайнем севере территории.

5. В результате кластерного анализа полей осадков получено разделение на 3 класса для каждого критерия. Распределение классов в поле числа дней с осадками ≥ 15 мм достаточно хорошо согласовано с распределением средних многолетних значений рассматриваемых критериев. Первый класс локализован на севере территории (побережье Карского моря) и характеризуется в климатическом отношении наименьшей повторяемостью сильных ливней в году (до 3 дней). Станции западной части территории вошли во 2-й класс со средним многолетним значением около 5 дней, пространственно совпадающий с территорией повышенного увлажнения на территории Западно-Сибирской равнины [20]. Наиболее многочисленный (65% всех станций) 3-й класс составляет 3–4 дней/год.

6. В холодное полугодие пространственная конфигурация выделенных классов имеет сложную структуру с менее выраженной согласованностью распределе-

ния средних многолетних значений. Пространственное расположение станций во 2-м классе соответствует климатическому району с умеренным увлажнением (4–6 дней в году).

7. Компонентный анализ критериев экстремальности режима осадков исследуемой территории показал его неоднородность. Это можно связать со значительным влиянием местных условий станции на режим осадков и особенностями циклонической активности над разными частями обширной территории. Так, суммарная доля объясненной дисперсии полей исследуемых критериев не превышает 28–35% при рассмотрении всей территории Западной Сибири. При учете полученных в настоящей работе результатов кластерного анализа доля объясненной дисперсии возрастает до 40–60%. Проведенная классификация позволила выявить районы с синхронным изменением временных рядов экстремальных осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Изменения климата*, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Т.Ф. Стокер, Д. Цинь, Платтнер и др. Кембридж юниверсити пресс, Кембридж, Соединенное Королевство и Нью-Йорк, США. 2013. 222 с.
2. Булыгина О.Н., Коришкова Н.Н., Кузнецова В.Н. и др. Анализ изменчивости климата на территории России в последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2000. Вып. 167. С. 3–15.
3. Hennessy K.J., Suppiah R. Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910–1990 // *Int. J. Climatol.* 1998. Vol. 10. P. 1141–1164.
4. Buffoni L., Brunetti M., Mangianti F. Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy // *Glob. Planet Change.* 2004. Vol. 40. P. 141–149.
5. Bardossy A., Hindech A. Trends in daily precipitation and temperature extremes across Western Germany in the second half of the 20th century // *Int. J. Climatol.* 2005. Vol. 25. P. 1189–1202.
6. Angulo-Martínez M., Beguería S., Kenawy A. et al. Trends in daily precipitation on the northeastern Iberian Peninsula, 1955–2006 // *Int. J. Climatol.* 2010. Vol. 30. P. 1026–104.
7. Попова В.В., Шмакин А.Б. Динамика климатических экстремумов в Северной Евразии в конце XX века // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2006. Т. 42. № 2. С. 157–166.
8. Chou, Chia, Chia-Wei Lan. Changes in the Annual Range of Precipitation under Global Warming // *J. Climate*. 2012. Vol. 25. P. 222–235.
9. Волкова М.А., Чередыко Н.Н., Кусков А.И. Пространственно-временная структура атмосферных осадков в Западной Сибири // *Вестник Томского государственного университета*. 2009. № 328. С. 214–219.
10. *Перечень и критерии опасных гидрометеорологических явлений для территории обслуживания Западно-Сибирского УГМС*. URL: <http://www.meteo-nso.ru/img/files/perechen.pdf> (дата обращения: 21.05.2014).
11. *Российский гидрометеорологический портал ВНИИГМИ-МЦД*. URL: <http://www.meteo.ru> (дата обращения: 15.05.2013).
12. Кусков А.И., Катаев С.Г. Структура и динамика приземного температурного поля над азиатской территорией России. Томск : Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2006. 176 с.
13. Закусилов В.П., Закусилов П.В. Использование компонентного анализа для характеристики атмосферной циркуляции над заданным географическим районом // *Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология*. 2009. № 2. С. 67–71.
14. Глинский В.В., Ионин В.Г. Статистический анализ : учеб. пособие. М. : Информационно-издательский дом «Филинь», 1998. 264 с.
15. 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.
16. Эзю И.Н. Кластерный анализ данных наблюдений и результатов численных экспериментов с моделью ОЦА // *Метеорология и гидрология*. 1995. № 12. С. 40–53.
17. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В. Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976–2004 гг. // *Метеорология и гидрология*. 2007. № 5. С. 28–36.
18. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Логинов С.В. и др. Влияние атмосферной циркуляции на температурный режим Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. Т. 24, № 01. Томск : ИОА СО РАН, 2011. С. 15–21.
19. Кусков А.И., Катаев С.Г., Комаров А.И., Волкова М.А. Циркуляционные условия формирования полей осадков теплого периода года на территории Томской области // *Вестник ТГПУ*. 2006. № 6 (57). С. 87–92.
20. *Климат России* / под. ред. Н.В. Кобышевой. СПб. : Гидрометеоиздат, 2001. 656 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 07 октября 2014 г.

THE CURRENT SPACE-TIME STRUCTURE OF THE EXTREME PRECIPITATION FIELD IN WESTERN SIBERIA

Tomsk State University Journal, 2015, 390, pp. 208–216. DOI 10.17223/15617793/390/34

Volkova Marina A. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: mv2101@mail.ru

Cheredko Natalia N. Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IMCES SB RAS) (Tomsk, Russian Federation). E-mail: atnik3@rambler.ru

Sokolov Kirill I. Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IMCES SB RAS) (Tomsk, Russian Federation). E-mail: weliton@mail2000.ru

Ogurtsov Leontiy A. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: 1991leon@mail.ru

Keywords: Western Siberia; extreme atmospheric precipitation; number of days; cluster analysis.

At the present time, one of the most critical issues in the climate change problem is to assess variability of climatic parameters against variation in their average values. Many researchers note that, in the context of the global warming over the recent decades, extreme events of the climatic regime have become more frequent in most regions. The significant growth of extreme characteristics in the atmospheric precipitation regime against a small increase in average values may aggravate the risks of difficult-to-predict rainfall floods in rivers, flooding of urban areas and agricultural lands, washouts of roads. The following characteristics are used in this study: - number of days with precipitation ≥ 15 mm – $Q_{15}^{\text{д}}$; - number of days with precipitation ≥ 5 mm at the negative daily mean temperature – $Q_{\text{от}0}^{\text{д}}$. For the study were used: daily meteorological data from the Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – the World Data Center (meteo.ru) for 1951-2010, based on 45 stations of Western Siberia. The characteristics mean of the number of days with precipitation, frequency of days with precipitation for a month and a year; maximum continuous periods with extreme precipitation were calculated. The difference between mean values for 1951-1980 and 1981-2010 was calculated at the station for each indicator. The choice of the 30-year period is explained by the fact that 1951-1980 can be taken as the reference period in which there were no significant climate changes in Russia on average. The statistical significance was determined on the basis of t-test. The sequence of data was confirmed to belong to Gauss-Laplace distribution on the basis of the test for concordance. The criteria of the per annum frequency of occurrence do not exceed 3.3 % for $Q_{15}^{\text{д}}$ and 1.5 % for $Q_{\text{от}0}^{\text{д}}$ (13 and 5 days per year, respectively) in the total number of days in the annual frequency for the 60-year period. The maximum continuity of the number of days with precipitation ≥ 5 mm at the negative daily mean temperature does not exceed 5 days. The average value for the most stations reaches 3-4 days. The maximum continuous period for the criterion $Q_{\text{от}0}^{\text{д}}$ does not exceed 5 days as well, at the average value of 2-3 days. The distribution for $Q_{15}^{\text{д}}$ in 1981-2010 against 1951-1980 shows that the number of days with precipitation of this level increased by 1-2 days per year over the major part of the territory. The distribution of changes in $Q_{15}^{\text{д}}$ for 1981-2010 as compared with 1951-1980 demonstrates the opposite trends: the zone where the indicator grows (eastern part of the territory) and the zone where the indicator decreases (around the Gulf of Ob and in the Far North of the area). The differences reach 1.5 days per year. The method of principal components (factor analysis) and cluster analysis were used for assessing the synchronism in time and space. The component analysis of the precipitation regime for extremes in the study area shows that this regime is unevenly distributed. This can be associated with the significant effect of the local station conditions on the precipitation regime, the prevalence of different forms of atmospheric circulation and the specifics of the cyclonic activity over the different parts of the selected area. The first two components of precipitation variability make up about 35%. It can be concluded that changes in the precipitation regime of Western Siberia are determined by global climatic events only to the extent of one-third. The information technologies which enable to account for local conditions should be involved for constructing models of the atmospheric precipitation field in this area. Thus, the total share of the interpreted dispersion for fields of criteria $Q_{15}^{\text{д}}$ and $Q_{\text{от}0}^{\text{д}}$ does not exceed 28-35 % for the whole territory of Western Siberia. Where the results of classification are taken into account, the share of the interpreted dispersion increase up to 40-60 %. The performed classification reflects the increase of synchronism with decreasing the scale of the area.

REFERENCES

1. Stocker, T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.) 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, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press, 2013. 1535 pp. DOI:10.1017/CBO9781107415324.
2. Bulygina O.N., Korshunova N.N., Kuznetsova V.N. et al. Analiz izmenchivosti klimata na territorii Rossii v poslednie desyatiletia [Analysis of climate variability on the territory of Russia in the last decade]. *Trudy VNIIGMI-MTsD*, 2000, no. 167, pp. 3-15.
3. Hennessy K.J., Suppiah R. Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910–1990. *Int. J. Climatol.*, 1998, vol. 10, pp. 1141–1164. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0088(199808)18:10<1141::AID-JOC286>3.0.CO;2-P
4. Buffoni L., Brunetti M., Mangianti F. Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy. *Glob. Planet Change*, 2004, vol. 40, pp. 141–149.
5. Bardossy A., Hindecha Y. Trends in daily precipitation and temperature extremes across Western Germany in the second half of the 20th century. *Int. J. Climatol.*, 2005, vol. 25, pp. 1189–1202.
6. Angulo-Martinez M., Beguera S., Kenawy A. et al. Trends in daily precipitation on the northeastern Iberian Peninsula, 1955–2006. *Int. J. Climatol.*, 2010, vol. 30, pp. 1026–104.
7. Popova V.V., Shmakin A.B. Dynamics of Climate Extremes in Northern Eurasia in the Late 20th Century. *Izvestiya RAN, Fizika atmosfery i okeana – Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2006, vol. 42, no. 2, pp. 138–147.
8. Chou Chia, Chia-Wei Lan. Changes in the Annual Range of Precipitation under Global Warming. *J. Climate*, 2012, vol. 25, pp. 222–235. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00097.1>
9. Volkova M.A., Chered'ko N.N., Kuskov A.I. Spatio-temporal structure of atmospheric precipitation in Western Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 2009, no. 328, pp. 214–219. (In Russian).
10. Perechen' i kriterii opasnykh gidrometeorologicheskikh yavleniy dlya territorii obsluzhivaniya Zapadno-Sibirskogo UGMS. [The list and criteria of hydrometeorological hazards to the service territory of the West Siberian Administration of Hydrometeorological Service]. Available from: <http://www.meteo-nso.ru/img/files/perechen.pdf>. (Accessed: 21st May 2014).
11. The Russian Hydrometeorological portal VNIIGMI-MTsD. Available from: <http://meteo.ru>. (Accessed: 15th May 2013).
12. Kuskov A.I., Kataev S.G. *Struktura i dinamika prizemnogo temperaturnogo polya nad aziatskoy territoriei Rossii* [Structure and dynamics of the surface temperature field of Asian Russia]. Tomsk: TSPU Publ. 2006. 176 p.
13. Zakusilov V.P., Zakusilov P.V. Use of component analysis to characterize the atmospheric circulation over a given geographical area. *Vestnik VGU. Seriya Geografiya. Geoekologiya – Proceedings of Voronezh State University. Geography. Geology*, 2009, no. 2, pp. 67–71. (In Russian).
14. Glinskiy V.V., Ionin V.G. *Statisticheskiy analiz* [Statistical analysis]. Moscow: Filin" Publ., 1998. 264 p.
15. Polyakov D.V., Kuzhevskaya I.V. 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*, 2012, no. 360, pp. 188–192. (In Russian).
16. Ezau I.N. Klasternyy analiz dannykh nablyudeniy i rezul'tatov chislennykh eksperimentov s model'yu OTsA [Cluster analysis of observational data and the results of numerical experiments with model GAC]. *Meteorologiya i gidrologiya – Russian Meteorology and Hydrology*, 1995, no. 12, pp. 40–53.
17. Gorbatenko V. P., Ippolitov I.I., Podnebesnykh N.V. Atmospheric circulation over western Siberia in 1976–2004. *Meteorologiya i gidrologiya – Russian Meteorology and Hydrology*, 2007, no. 5, pp. 28–36. (In Russian).
18. Gorbatenko V.P., Ippolitov I.I., Loginov S.V. et al. Effect of atmospheric circulation on temperature variations in Siberia. *Optika atmosfery i okeana – Atmospheric and Oceanic Optics*, 2011, vol. 24, no. 1, pp. 15–21. (In Russian).
19. Kuskov A.I., Kataev S.G., Komarov A.I., Volkova M.A. Circulating Conditions of the Forming Precipitation Fields of the Warm Year Period on the Tomsk Region. *Vestnik TGPU – Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2006, no. 6(57), pp. 87–92. (In Russian).
20. Kobysheva N.V. (ed.) *Klimat Rossii* [The climate of Russia]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2001. 656 p.

Received: 07 October 2014