

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ И СИНХРОННОСТИ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ

Предложен алгоритм комплексной оценки пространственно-временной структуры параметров климата территории. Представлены результаты оценки современных тенденций изменения параметров климата в Алтайском регионе. Показано, что изменения климатических характеристик в регионе происходят синхронно, наибольшая сопряженность изменчивости наблюдается внутри выделенных классов станций. Выявлена смена знака тенденции в динамике температуры после 1998 г. Явно выраженной тенденции в изменении количества осадков в Алтайском регионе не зафиксировано.

Ключевые слова: Алтайский регион; климатические тенденции; синхронность изменения.

В настоящее время существует множество работ по исследованию климата, что подтверждает, с одной стороны, значимость и актуальность этой проблемы для цивилизации и, с другой, отсутствие единой непротиворечивой оценки климатических тенденций и причин, их вызывающих. Проблема «climate change» остается одной из самых сложных и запутанных в науках о Земле. Анализ литературных источников позволяет заключить, что факт глобального потепления с середины 1970-х гг. установлен однозначно, но со значительной пространственно-временной неоднородностью, вопрос о его причинах остается спорным. Кроме того, в ряде исследований отмечаются замедление темпов потепления и тенденции похолодания в некоторых регионах в последние годы. Также очевидно, что на Земле никогда не было стабильной температуры, климат изменялся на протяжении всей истории планеты, а неоднородность геосистемы планеты формирует разный отклик природных объектов, природно-территориальных комплексов на одни и те же внешние и внутренние воздействия. Последнее подтверждает актуальность региональных исследований. В настоящей работе климат рассматривается как важнейший природный ресурс Алтайского региона, включающего территории Алтайского края и Республики Алтай. Характеристика климатических ресурсов позволяет оценить эколого-климатический потенциал территории, эффективное использование которого – важнейшая основа устойчивого развития любого региона. Регулярное обновление информации о климатических ресурсах региона делает различные сферы экономики более гибкими к их изменениям.

По данным разных авторов, основные закономерности тенденций в динамике приземной температуры и количества атмосферных осадков в Алтайском регионе с середины XIX в. по настоящее время совпадают с глобальными тенденциями, имея незначительные сдвиги. Н.Ф. Харламовой [1–3] для станции Барнаул, чья репрезентативность для внутриконтинентальных районов Азии подтверждена в работах этого же автора [1], отмечается рост средней температуры приземного воздуха, наиболее значительный в зимние и весенние месяцы года. В последние годы автор отмечает некоторое снижение положительного тренда температуры в Барнауле [2] за счет отрицательных тенденций в зимний и летний сезоны. При этом увеличение суровости зим в последние годы, по мнению Н.Ф. Харламовой, не противоречит концепции потепления климата [2–3], а ока-

зывает влияние только на замедление роста температуры. Значительный положительный тренд температуры высокой обеспеченности, главным образом за счет зимних и весенних месяцев, выявлен и в работах [4, 5] для станций Кызыл-Озек, Усть-Кан, Кош-Агач за период 1961–2005 гг.; с 2002 г. авторами также, отмечается начало возрастания суровости зим [Там же].

Особую роль в формировании климата исследуемой территории, по мнению большинства ученых, играет взаимодействие всего спектра «ландшафтной мозаики этой части Сибири» [6] с климатообразующими процессами, в особенности с циркуляционными факторами. По мнению Б.Г. Шерстюкова, крупномасштабные формы рельефа являются еще и «трендообразующим фактором» [7]: положительные тренды среднегодовой температуры усиливаются в районах, где на пути перемещения воздушных масс естественными препятствиями являются повышения рельефа. Коллектив авторов Томского государственного университета, исследуя динамику средних годовых температур воздуха в горных районах Сибири [8], заключил, что в замкнутых формах рельефа (горных котловинах) величина тренда температуры в 2–3 раза больше, а на водоразделах на столько же меньше, чем на равнинных территориях. В холодный период года эти различия становятся резче. В работах [9, 10] также указано, что максимальное потепление отмечается в межгорных котловинах Юго-Восточного Алтая, в частности в Чуйской котловине (ст. Кош-Агач).

В данной работе использованы новейшие данные инструментальных измерений температуры воздуха как важнейшего элемента климата с 26 метеостанций Алтайского региона за 1961–2012 гг. с целью исследования структуры рядов наблюдений, выявления основных особенностей динамики и оценки синхронности температурных изменений с учетом ландшафтов.

Как правило, пространственно-временную структуру природных полей представляют их характеристиками, усредненными по времени, образующими временные ряды – массивы зарегистрированных данных. Сложность и трудоемкость процесса анализа временных рядов определяется тем, что данные, их формирующие, заключают в себе целый комплекс неявной, скрытой информации, так как любое природное явление формируется множеством факторов, как внешних, так и внутренних, действующих в различных направлениях, связанных или не связанных между собой. Также анализ характеристик климата осложняется недостаточной гу-

стотой наблюдательной сети, ошибками в рядах наблюдений. Кроме того, мы имеем единственную реализацию процесса изменения климатической системы, поэтому на практике при анализе временных рядов им приписывают свойство эргодичности, основанное на предположении о том, что «единственная реализация случайной функции репрезентативной продолжительности является достаточно опытным материалом для получения ее статистических характеристик» [11].

Анализ тенденций изменения приземной температуры воздуха на станциях Алтайского региона показал, что по оценкам за период 1961–2012 гг. средняя температура воздуха в Алтае увеличивалась со скоростью в

среднем $0,3^{\circ}\text{C}/10$ лет, достоверность чего проверена с помощью критерия Стюдента (табл. 1). Положительный тренд, рассчитанный по этому интервалу лет, отмечается во все сезоны года.

Максимум скоростей потепления отмечается на станциях, расположенных на юго-востоке региона (рис. 1, а), что подтверждает вывод (сделанный другими исследователями и упомянутый выше) о том, что потепление в котловинах происходит значительно интенсивнее, чем на равнинных территориях. Кроме того, очаг повышенных скоростей потепления наблюдается в районе станции Кызыл-Озек, расположенной в узкой, меридионально ориентированной долине р. Майма.

Таблица 1

Скорость изменения температуры годовой и по сезонам на некоторых станциях Алтайского региона в различные временные интервалы

Период	1961–2012 гг.					1976–2010 гг.					1998–2012 гг.				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Барнаул	0,0	0,4	0,1	0,4	0,2	–0,2	0,7	0,1	0,5	0,2	–4,3	0,7	–0,3	1,4	–0,9
Алейская	0,1	0,4	0,1	0,4	0,2	–0,1	0,7	0,1	0,5	0,3	–4,3	0,4	–0,3	1,2	–1,0
Бийск-Зональная	0,1	0,4	0,2	0,4	0,2	–0,3	0,5	0,1	0,3	0,1	–3,7	0,6	–0,2	1,1	–0,8
Змеиногорск	0,1	0,4	0,1	0,3	0,2	0,0	0,8	0,1	0,4	0,3	–4,8	0,7	–0,4	0,9	–1,1
Рубцовск	0,1	0,4	0,1	0,4	0,2	–0,1	0,7	0,1	0,4	0,3	–4,5	0,6	–0,1	1,2	–1,0
Чарышское	0,1	0,4	0,1	0,3	0,2	0,0	0,6	0,1	0,4	0,2	–4,7	0,1	–0,5	0,3	–1,4
Кош-Агач	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,0	0,6	0,4	0,3	0,3	–4,0	–1,2	–0,1	0,6	–1,1
Турочак	0,5	0,5	0,3	0,5	0,4	–0,2	0,6	0,1	0,2	0,1	–3,5	0,7	–0,2	1,0	–0,7
Усть-Кокса	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,6	0,6	0,3	0,4	0,5	–3,3	0,3	–0,3	0,4	–0,8
Чемал	0,0	0,4	0,3	0,3	0,2	–0,6	0,6	0,5	0,2	0,2	–3,9	0,5	–0,2	0,8	–0,9

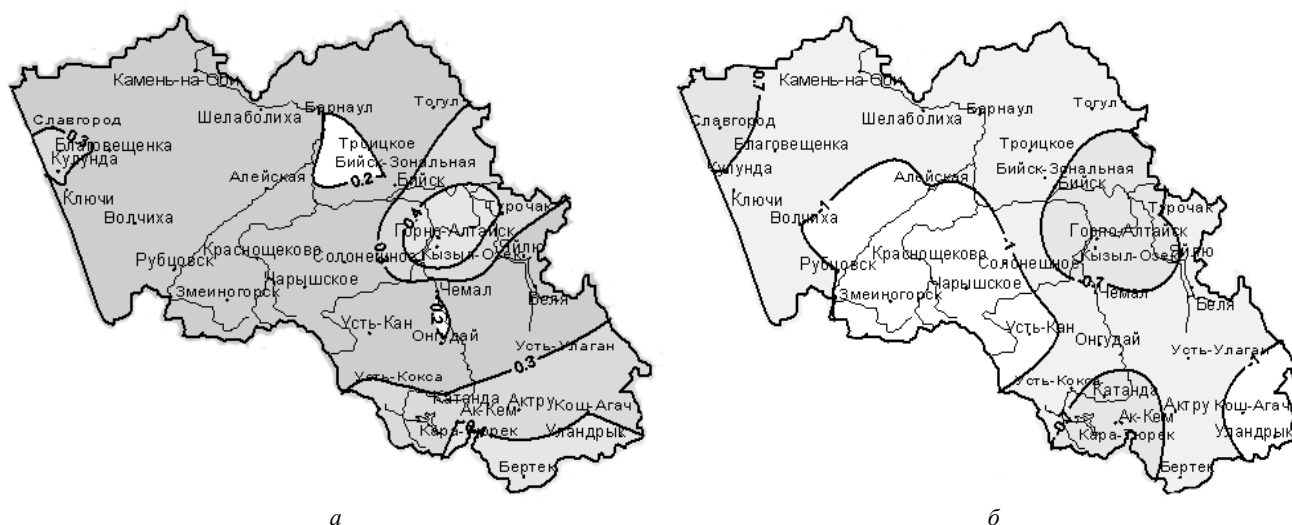


Рис. 1. Пространственное распределение средней скорости изменения температуры ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) в Алтайском регионе, рассчитанной за периоды: а – 1961–2012 гг.; б – 1998–2012 гг.

Для сравнения темпов роста температуры в Алтайском регионе с глобальными тенденциями были получены оценки сезонных и годовых тенденций за период 1976–2010 гг. В итоге широко обсуждаемое в обществе потепление, фиксирующееся с 1976 г. в виде значительного увеличения темпов роста глобальной ($0,08^{\circ}\text{C}/10$ лет [12–13]) и средней по территории России ($0,44^{\circ}\text{C}/10$ лет [14]) температуры, по данным станций Алтайского региона, характеризуется практически теми же скоростями, что и для периода 1961–2012 гг., а на некоторых станциях и несколько меньшими (см. табл. 1). Причем в зимние месяцы скорости снижаются, а на некоторых станциях меняют знак.

Положительными и значительными остаются тренды переходных сезонов.

Далее нами было выявлено, что в последние полтора десятилетия на всей территории исследования сформировались отрицательные температурные тенденции в основном за счет увеличения суровости зим и похолодания летних месяцев (см. табл. 1). Определяющее влияние зимних месяцев на общую тенденцию изменения годовой температуры, очевидно, обусловлено преобладанием периода с отрицательными среднесуточными температурами воздуха по продолжительности над периодом положительных среднесуточных температур. Медленнее всего на смену знака тренда

реагируют станции севера и северо-востока территории (см. рис. 1, б). Наиболее сильно тенденция похолодания проявила себя на станциях Предалтайской равнины и в районе ст. Кош-Агач. Данное обстоятельство еще раз подтверждает, что климат изменяется постоянно, ориентироваться в прогнозах на экстраполяцию линейных трендов ошибочно. В каждом регионе изменениям климата присущи свои особенности, отличные от глобальных. Нетрудно согласиться с Б.Г. Шерстюковым [7], утверждающим, что при выборе периода лет для оценивания тренда необходимо руководствоваться какой-либо физической гипотезой. Возможно, поле температуры рассматриваемого района, как одного из наиболее чувствительных к климатическим изменениям, уже среагировало на прогнозируемую некоторыми исследователями смену «глобального потепления» на похолодание в ближайшие годы. Главным образом, смена тенденций связывается со сменой циркуляционных эпох.

Н.К. Кононовой [15] выявлено, что потепление последних десятилетий XX в. согласуется с ростом продолжительности меридиональных южных процессов по типизации Б.Л. Дзержевского. Автор зафиксировала, что с 1998 г. по настоящее время на фоне минимума продолжительности зональной циркуляции продолжительность меридиональной южной циркуляции уменьшается, хотя остается еще почти вдвое выше средней, а также преобладают процессы меридиональной северной группы. Данный факт означает достаточно высокую вероятность появления обусловленных такими циркуляционными условиями опасных явлений – блокирующих процессов, ежегодная повторяемость которых с 1998 г. также превосходит среднюю. Кроме того, с 1998 г. автор отмечает рост продолжительности блокирующих процессов. Так, в 2009 г. в связи с ростом продолжительности арктических вторжений и антициклонической погоды зимой в Сибирском федеральном округе наблюдался максимум чрезвычайных ситуаций, было зафиксировано 144 опасных явления, из которых 13 было связано с сильными морозами, метелями и заморозками [16]. Такой характер циркуляции, по мнению Н.К. Кононовой, продлится ещё 10–15 лет [16].

Явно выраженная долговременная тенденция в изменении среднего месячного количества осадков в целом за период с 1961 по 2010 г. не фиксируется. Наибольший рост осадков можно отметить в северо-восточной части и на юге территории, а также на станциях Кулунда и Ключи. Однако скорости долговременного изменения этой характеристики по абсолютному значению не превышают 1 мм/мес./10 лет, а оценка по критерию Стьюдента подтвердила, что их нельзя считать достоверными. Пространственное распределение трендов годовых сумм осадков сплошь «очаговое». Это связано с крайней зависимостью режима осадков от местных условий, особенно от орографических особенностей территории выпадения.

Неоспоримая «глобальность» и актуальность проблемы климатических изменений требует глубокого понимания структуры всех процессов, происходящих в этой оболочке геосистемы нашей планеты как во времени, так и в пространстве. Структура данных наблюдений чаще всего неочевидна. Часть исследователей считают, что любой геофизический процесс детерми-

нирован и только недостаток исходных данных приводит к использованию вероятностно-статистических методов. Представители другой группы ученых придерживаются физико-статистических методов, что обусловлено, по их мнению, самим определением климата как статистического ансамбля состояний системы «атмосфера – океан – суша», которые она проходит за десятилетия. Кроме того, еще в начале XX в. появились работы, которые позже были продолжены А. Пуанкаре, Э.Н. Лоренцем [17], показывающие невозможность точного задания координат и импульса частицы и возможность прогноза ее положения лишь на ограниченный период времени. Большинство алгоритмов анализа динамики рядов предлагают разделять ее тенденцию и колеблемость [7, 11, 18–20], т.е. выделять в рядах систематические и шумовые составляющие, давая каждой из них количественную характеристику. В данной работе предлагается оригинальный алгоритм анализа данных наблюдений параметров климата на региональном уровне с использованием комплекса методов математического описания, пригодный для характеристики структуры временных рядов любой длительности и обнаружения закономерностей в их пространственно-временном распределении. Предлагаемая схема не претендует на единственно правильную, но, на наш взгляд, является наиболее естественной и оптимальной последовательностью действий при анализе пространственно-временной структуры климатической компоненты геосистемы исследуемого района. Исходная предпосылка предлагаемого алгоритма основывается на представлении ряда в виде совокупности компонент (составляющих), порождаемых различными факторами и их связями. Схематично этапы исследования структуры климатических рядов представлены на рис. 2.

Разложение данных на составляющие широко используется различными исследователями. Применяют разложение функций по различным ортонормированным системам: разложение в тригонометрический ряд Фурье, разложение в ряд Фурье–Бесселя по системе функций Бесселя, разложение по различным ортогональным полиномам (Чебышева, Эрмита и др.). В большей степени физически обоснован метод разложения рядов [20], согласно которому временные ряды могут складываться из четырех составляющих: тренда (систематического движения), колебаний относительно тренда с большей или меньшей регулярностью, эффекта сезонности, «случайной» (несистематической или нерегулярной) компоненты.

Обычно разложение рядов представляется в двух формах: в виде суммы (аддитивная форма) для рядов характеристик в натуральном выражении или в виде произведения (мультипликативная форма) для рядов характеристик, переведенных в индексы. В работе [19] принцип разложения рядов природных полей на составляющие основан на предпосылке того, что значения поля, порождаемые процессами меньшего масштаба, колеблются около величин, сформированных процессами большего масштаба. На примере временного ряда значений средней месячной температуры воздуха показано, что средние месячные значения температуры в годовом цикле совершают колебания около долговременного тренда, анома-

лии (отклонения) средних месячных значений колеблются около годового хода. Разложение временных рядов характеристик климата на составляющие по принципу временного масштаба процессов, формирующих значения

этих полей, дает возможность подробного, многоуровневого анализа пространственно-временной изменчивости значений поля, расширяет потенциал установления и обоснования причинных связей.

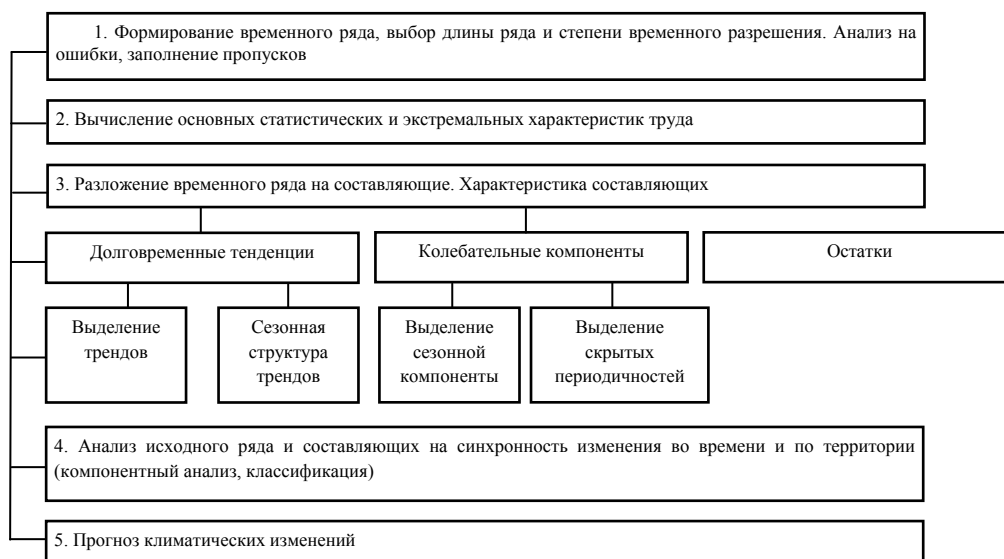


Рис. 2. Алгоритм комплексной оценки пространственно-временной структуры параметров климата территории

Модель разложения, предложенная в [19], представляется нам наиболее приемлемой и физически обоснованной. На ее основании для интерпретации климатической составляющей геосистемы Алтайского региона принимаем гипотезу о том, что значения климатических характеристик любого месяца можно представить в виде следующих составляющих: долговременные тенденции, колебательные компоненты и остатки. Таким образом, например, средние месячные значения температуры в конкретный месяц m предлагаем представлять в следующем виде:

$$f(t) = f_{tr}(t) + f_m + f_g(t) + ost,$$

где $f_{tr}(t)$ – величина долговременного тренда температуры; f_m – годовой ход (сезонная составляющая): среднее значение температуры конкретного месяца m в годовом ходе; $f_g(t)$ – скрытые периодичности; ost – остаточная составляющая: отклонение средних месячных значений конкретных месяцев от значений, обусловленных годовым ходом и скрытыми периодичностями; t – условный порядковый номер месяца начиная с начала временного ряда.

Годовой ход (сезонная составляющая) наряду с трендом являются наиболее информативными составляющими климатических рядов, позволяют оценивать основные тенденции в изменениях исследуемого параметра и его внутригодовую динамику. Интерес к циклическим составляющим природных полей был всегда высок и заметно увеличился в последние годы в связи с тем, что учет многоуровневой системы циклов дает новые возможности в решении задач второго и третьего уровней мониторинга природных полей (оценка причин современных климатических изменений и использование цикличности в долгосрочных прогнозах).

При использованном способе разложения составляющие исходного временного ряда некоррелированы относительно друг друга, их средние значения, кроме долговременного тренда, равны нулю. При этом среднее значение исходного ряда равно среднему значению долговременного тренда. Дисперсия исходного ряда D (общая дисперсия) равна сумме дисперсий составляющих:

$$D = D_{f_{tr}} + D_{f_m} + D_{f_g} + D_{ost},$$

где $D_{f_{tr}}$ – дисперсия тренда, D_{f_m} – дисперсия годового хода, D_{f_g} – дисперсия суммы гармоник, D_{ost} – дисперсия остатков. Вклад каждой составляющей в общую изменчивость (дисперсию) параметра можно оценить из соотношения

$$\frac{D_{f_{tr}}}{D} + \frac{D_{f_m}}{D} + \frac{D_{f_g}}{D} + \frac{D_{ost}}{D} = 1,$$

где $\frac{D_{f_{tr}}}{D}$, $\frac{D_{f_m}}{D}$, $\frac{D_{f_g}}{D}$, $\frac{D_{ost}}{D}$ – доли вклада в общую изменчивость долговременного тренда, сезонной составляющей, скрытых периодичностей и остатков соответственно.

Разложение климатических рядов на составляющие позволяет выходить на физическую интерпретацию их динамики и структуры, а также оценивать вклад каждой из составляющих в общую изменчивость ряда. Так, на всех станциях наибольший вклад в общую изменчивость рядов температуры (рис. 3, а) вносит годовой ход (сезонная составляющая) – более 90%. Часть изменчивости рядов температуры, описываемая скрытыми периодичностями, составляет в среднем 1,3%, что, конечно, несоизмеримо с вкладом сезонной составляющей, но гораздо больше влияния трендов, которое для большинства станций не превышает 0,3%. Основной вклад в общую

изменчивость сумм осадков (рис. 3, б) вносят остатки и сезонный ход, значительный вклад (в среднем по территории около 10%) вносит составляющая, формирующаяся периодичностями различного масштаба. Таким образом, при моделировании и прогнозировании тепло-

влажностного режима территории, помимо трендов и годового хода, необходимо учитывать циклические составляющие временных рядов, роль которых явно недооценивается при подготовке оценочных докладов и принятии стратегических решений разного уровня.

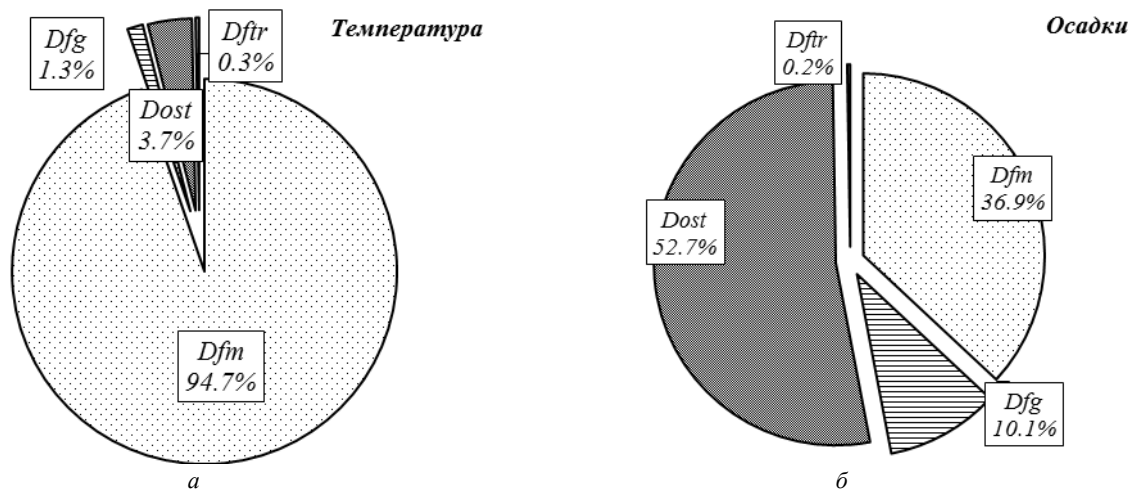


Рис. 3. Вклад составляющих временных рядов средней месячной температуры и сумм осадков на станциях Алтайского региона в общую изменчивость ряда

Для выявления степени синхронности изменения составляющих временных рядов средней месячной температуры и осадков оправданно применение метода главных компонент, предложенного для использования в таком качестве авторами [11, 21]. Задача компонентного анализа состоит в преобразовании исходных характеристик в главные компоненты, дисперсия которых равна дисперсии исходного ряда [22]. Суть метода главных компонент заключается в определении между переменными f_1 и f_2 взаимосвязи, которая может быть измерена ковариациями или, что эквивалентно дисперсиям, корреляциями между ними. При этом главные компоненты являются линейными комбинациями исходных переменных. Таким образом, получается сжатое описание структуры зависимости, несущее почти всю информацию, которая содержится в исходных переменных, т.е. сжимаются массивы данных, упрощая интерпретацию. Кроме того, данный метод позволяет оценивать синхронность в изменениях различных характеристик и выявлять ведущие факторы в их изменчивости.

Первоначально в анализ не включались данные высокогорных станций для исключения искажения результатов. Целесообразность рассмотрения их отдельным классом при расчетах будет объяснена ниже. Составляющие, характеризующие скрытые в рядах периодичности и остатки, объединены в одну – отклонения.

В результате получено, что все составляющие поля температуры воздуха в регионе исследования описываются одной (первой) компонентой (табл. 2). Причем доля объясненной компонентами изменчивости рядов составляет от 74,6 (отклонения) до 100% (долговременный тренд). Таким образом, даже такие изменчивые составляющие, как отклонения, по территории изменяются синхронно, т.е. пространственный масштаб процессов, формирующих их, превышает масштабы территории Алтая. Из табл. 2 видно, что синхронность изменения сумм осадков ниже, только половина изменчивости исходных рядов описывается первой главной компонентой. Это определено значительным влиянием условий орографии станции на режим осадков.

Таблица 2

Характеристики разложения полей температуры и осадков на ортогональные составляющие на некоторых станциях Алтайского региона

Станция	Характеристики компонент (температура)								Характеристики компонент (осадки)							
	<i>t</i>		<i>tm</i>		<i>tr</i>		<i>to</i>		<i>qg</i>		<i>qm</i>		<i>qtr</i>		<i>qo</i>	
	<i>a</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>R</i>
Барнаул	0,17	0,83	0,19	0,96	0,12	1	0,16	0,54	0,14	0,65	0,13	0,71	0,05	1	0,2	0,7
Алейск	0,2	0,99	0,2	1	0,17	1	0,21	0,98	0,21	0,76	0,12	0,68	0,03	1	0,1	0,5
Рубцовск	0,21	0,98	0,2	1	0,19	1	0,21	0,98	0,17	0,72	0,11	0,7	–0	–1	0,07	0,45
Славгород	0,2	0,97	0,21	1	0,18	1	0,21	0,95	0,15	0,62	0,09	0,59	0,08	1	0,1	0,61
Горно-Алтайск	0,19	0,97	0,18	1	0,16	1	0,19	0,98	0,24	0,81	0,24	0,89	0,02	1	0,19	0,7
Кара-Тюрек	0,15	0,73	0,13	0,98	0,18	1	0,12	0,68	0,11	0,38	0,21	0,81	0,33	1	0,18	0,72
Усть-Кан	0,16	0,92	0,17	0,99	0,18	1	0,15	0,79	0,11	0,53	0,25	0,85	0,04	1	0,14	0,52
Чемал	0,17	0,96	0,15	1	0,15	1	0,17	0,92	0,13	0,53	0,21	0,87	0,15	1	0,17	0,7
Яйлю	0,15	0,97	0,14	0,99	0,14	1	0,14	0,84	0,22	0,6	0,25	0,89	0,11	1	0,3	0,81
Собств. число, %	84		98,6		100		74,6		44,7		64,4		99,95		45,7	

Примечание. Составляющие температуры: *t* – средняя годовая, *tm* – сезонный ход, *tr* – тренд, *to* – отклонения; составляющие осадков: *q* – годовые суммы, *qm* – сезонный ход, *qtr* – тренд, *qo* – отклонения; *a* – собственный вектор компоненты, *R* – коэффициент корреляции компоненты с фактическим полем.

Высокая связность параметров долговременного тренда и сезонной составляющей рядов температуры и осадков на всех рассмотренных станциях с типовым полем показывает, что крупные направленные изменения климатических параметров и сезонные колебания происходят на территории региона синхронно, так как формируются процессами глобального масштаба. Кроме того, в результате применения метода главных компонент, практически без потери информации, размерность массивов для составляющих сокращается в 26 раз. Следует отметить, что все собственные векторы первой главной компоненты положительны и близки по величине.

Высокогорные станции немногочисленны, и зачастую метеорологические данные, полученные на них, приходится исключать из исследования из-за их обособленности. На Алтае шесть таких станций: Ак-

Кем, Кара-Тюрек, Кош-Агач, Актру, Бертек, Уландрык, последние три в настоящее время прекратили работу из-за отсутствия финансирования. Для решения вопроса о связности изменений температуры в годовом ходе на этих станциях был проведен компонентный анализ.

Полученный результат показал (табл. 3), что температура на высокогорных станциях изменяется согласованно во все месяцы года (связь в среднем более 0,9). Первая компонента определяет значительную часть суммарной дисперсии (87,8%), т.е. характеризует все основные закономерности изменения температуры на высокогорных станциях. Особенность заключается в том, что характер связей в теплый период года меняется на противоположный по сравнению с зимним. Вторая компонента описывает особенности переходных сезонов, когда происходит перестройка поля температуры с зимнего на летний тип и обратно.

Т а б л и ц а 3

Характеристика разложения полей средней месячной температуры на ортогональные составляющие на высокогорных станциях Алтая

Месяц	Среднее, °С	Дисперсия, °С	1-я компонента		2-я компонента	
			a_1	R_1	a_2	R_2
Январь	-21,92	4,08	0,53	0,99	0,16	0,11
Февраль	-19,9	3,13	0,40	0,98	0,24	0,22
Март	-12,8	1,28	0,08	0,49	0,39	0,86
Апрель	-3,48	1,74	-0,17	-0,74	0,42	0,68
Май	3,92	1,91	-0,22	-0,88	0,31	0,46
Июнь	9,02	2,07	-0,24	-0,91	0,31	0,42
Июль	10,75	2,07	-0,25	-0,94	0,25	0,34
Август	8,83	1,8	-0,22	-0,94	0,22	0,35
Сентябрь	3,4	1,54	-0,17	-0,87	0,27	0,49
Октябрь	-4,45	0,8	-0,04	-0,37	0,26	0,92
Ноябрь	-13,7	2,03	0,23	0,88	0,34	0,47
Декабрь	-19,53	3,69	0,47	0,99	0,19	0,15
Собственное число, %			87,8		11,8	

Примечание. a_1 и a_2 – собственные векторы компонент; R_1 и R_2 – коэффициенты корреляции компонент с фактическим полем.

Такая синхронность позволяет не исключать эти станции из анализа температурных полей, а просто выделять из общего массива данных, чтобы избежать искажения результатов, и рассматривать при расчетах отдельным классом. Кроме того, такая связность делает возможным проведение изолиний в горной части Алтая, что расширяет возможности наглядного представления пространственно-временных особенностей полей климатических параметров.

Проведенные выше расчеты позволили оценить синхронность изменения составляющих полей температуры и осадков, однако степень сопряженности не абсолютна (связь с типовым полем менее 100%). Для оптимизации и конкретизации представления материала и нахождения районов с однотипными климатическими изменениями в Алтайском регионе была проведена пространственная классификация полей температуры и осадков. Цель классификации формулируется как задача по выявлению по эмпирическим данным районов с близким временным ходом величины [11]. Классификация средней месячной температуры в Алтайском регионе проводилась по алгоритму, разработанному и подробно описанному авторами [21], позволяющему выделять среди всех объектов группы, в которых элементы связаны друг с другом сильнее, чем со всеми остальными. Классификация поля средней тем-

пературы позволила выделить 4 класса, имеющих выраженную географическую локализацию (рис. 4, а), что отражает общность факторов, их формирующих.

Об изолированности классов и высоком качестве классификации поля температуры свидетельствует тот факт, что внутриклассовые расстояния в 2–5 раз меньше, чем межклассовые (см. табл. 4).

Первый класс станций, включающий в себя большинство станций, пространственно занимает всю равнинную часть рассмотренной территории, характеризуется средними положительными годовыми температурами и наименьшим внутриклассовым расстоянием. Климат этой части Алтайского региона обусловлен свойствами приходящих с западным переносом масс воздуха и расположением на юге Западно-Сибирской равнины. Во второй класс вошли станции с самыми высокими годовыми температурами в регионе: ст. Чемал и две станции вблизи Телецкого озера (Яйлю и Бея), расположенные в меридионально ориентированной котловине, трансформирующей движение приходящих воздушных масс в направлении юг – север. Температурный режим на этих трех станциях подвержен существенному влиянию фёнов [23], кроме того, обогревающий эффект в зимний период оказывает наличие крупного водоема. Термические особенности третьего и четвертого классов, расположенных в средне-

горье и высокогорье Алтая, обусловлены рельефом местности. К третьему классу относятся станции, по своему расположению открытые влиянию воздушных масс, приходящих с западным переносом, в то же время контрастности климата этого района способствует открытость станций воздушным массам со Средней Азии [24]. Четвертый класс станций, занимающий территориально самую высокогорную часть региона исследования, характеризуется самыми низкими годовы-

ми температурами и наибольшими внутриклассовыми различиями. Эти станции изолированы от влияния теплых и влажных воздушных масс, приходящих с Атлантики, и расположены ближе всего к центру Азиатского антициклона, что способствует формированию в этом районе сурового климата. Станции Усть-Улаган и Уландрык не вошли ни в один из классов, что можно объяснить индивидуальными особенностями их расположения в долинах высокогорных рек.

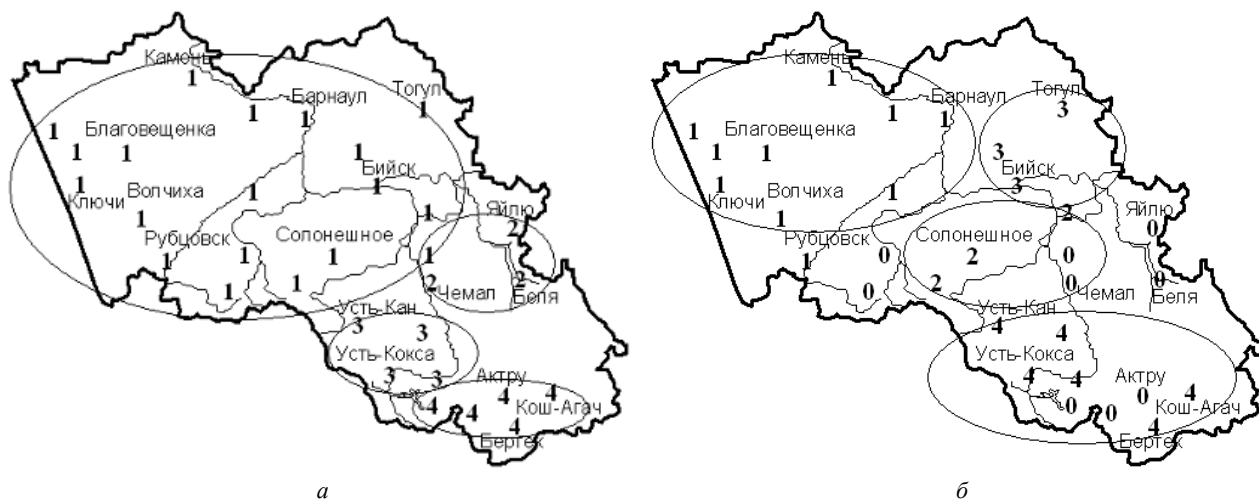


Рис. 4. Распределение классов температуры воздуха и осадков по территории Алтайского региона

Таблица 4

Характеристика классификации полей температуры и осадков в Алтайском регионе

Характеристика	Класс	Число станций	Среднее	Дисперсия	Внутриклассовое расстояние, °C	Межклассовое расстояние, °C		
						2	3	4
Температура	1	14	2,5	172	0,17	0,32	0,25	0,77
	2	3	4,0	106	0,20		0,43	0,88
	3	4	0,0	164	0,20			0,52
	4	5	-4,1	153	0,36			
Осадки	1	10	28,3	477	0,24	0,44	0,40	0,35
	2	3	49,4	1435	0,27		0,39	0,48
	3	3	46,1	843	0,33			0,56
	4	8	25,0	624	0,27			

Классификация поля осадков в регионе – гораздо более сложная задача. Выявлено также четыре класса станций (рис. 4, б) с синхронной динамикой этой величины. В большей степени их распределение обусловлено рельефом местности. Первый класс включает наибольшее число станций, занимает равнинную часть региона, режим осадков которой формируется процессами, приходящими с сибирских равнин. Станции этого класса характеризуются малыми средними суммами осадков, наибольшей связностью станций внутри таксона (табл. 4) и наименьшей в регионе изменчивостью. Станции Чарышское, Солонешное и Горно-Алтайск образуют второй класс станций, определяющийся особенностями их расположения в предгорьях Алтая, способствующего усилению осадков, приходящих с западным переносом воздушных масс. Этот класс отличают наибольшие средние месячные суммы осадков. В четвертый класс вошли станции центральной и южной частей Горного Алтая, характеризующиеся наименьшими и низкими суммами осадков. Некоторые из рассмотренных станций не вошли ни в один класс. Режим

осадков на них в максимальной степени определяется местными условиями.

Пространственное распределение классов составляющих (тренда, сезонной и отклонений) сходно с расположением классов поля исходных температуры и осадков. Использованный метод классификации показал свою объективность даже в условиях такой сложной территории, как Алтайский регион.

В целом можно заключить, что проведенная классификация позволяет выявлять мезомасштабные особенности температурного поля и режима осадков территории исследования и выделять естественные области в регионе, внутри которых отмечается схожий характер динамики соответствующих климатических характеристик. Кроме того, выделение районов с однотипными изменениями климатических ресурсов позволяет повысить оптимизацию использования сельскохозяйственных, рекреационных ресурсов и рационального природопользования.

Проведение компонентного анализа применительно к станциям каждого класса отдельно показало значительное

увеличение степени синхронности изменения температуры и осадков внутри таксонов. Так, доля объясненной компонентами изменчивости исходных рядов температуры возросла с 84,0 до 99,5; 98,9; 97,6 и 97,1% для первого, второго, третьего и четвертого классов соответственно.

Выявление особенностей возникновения связности и синхронности полей климатических параметров, а также специфики их неоднородности в различных ре-

гионах мира может служить существенным информативным признаком при разработке методов прогноза динамики региональных погодно-климатических процессов на фоне глобальных изменений. Данная информация позволит оптимизировать проведение в хозяйствах региона соответствующие адаптационные мероприятия, которые будут способствовать минимизации экономического и социального ущерба для населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харламова Н.Ф. Современные изменения климата внутриконтинентальных районов России // Известия АГУ. 2006. Вып. 41, № 3. С. 47–52.
2. Харламова Н.Ф. Долговременные климатические изменения на внутриконтинентальной территории России (Алтайский регион) // Известия АГУ. 2010. Вып. 67, № 3–1. С. 133–140.
3. Харламова Н.Ф. Определение тенденции региональных изменений климата при изучении экономических и социальных аспектов развития Большого Алтая // Ползуновский альманах. 2011. № 3. С. 134–137.
4. Сухова М.Г., Журавлева О.В., Тенгерекова Т.А. Региональный аспект изменения климата (на примере Алтая) // Вестник молодых ученых : сб. науч. работ. Горно-Алтайск : РИО ГАГУ, 2007. № 4. С. 25–30.
5. Сухова М.Г., Модина Т.Д. Современные изменения температурного режима воздуха и режима увлажнения на Алтае как проявление регионального изменения климата // Мир науки, культуры, образования. 2007. Вып. 5, № 2. С. 14–18.
6. Севастьянов В.В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 1998. 201 с.
7. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск : ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. 247 с.
8. Барашкова Н.К. Особенности потепления климата в горных районах Сибири // Тезисы докладов Третьего Сибирского совещания по климатологическому мониторингу. Томск, 1999. С. 8–9.
9. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / под ред. А.О. Кокорина. М. : WWF России, 2011. 168 с.
10. Севастьянов В.В., Севастьянова Л.М. Современные изменения климата на юге Сибири // Материалы Шестого Сибирского совещания по климатологическому мониторингу. 14–16 сентября 2005 г. Томск, 2005. С. 65–69.
11. 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.
12. Изменение климата. Ежемесячный информационный бюллетень // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). 2010. № 4(13). URL: <http://meteorf.ru> (дата обращения: декабрь 2010 г.).
13. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / под ред. Р.К. Пачури, А. Райзингер и др. Женева : МГЭИК, 2008. 104 с.
14. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 год. М. : Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2011. 66 с.
15. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / под ред. А.Б. Шмакина. М. : Воентехиздат, 2009. 372 с.
16. Кононова Н.К. Тенденции изменения повторяемости метеорологически обусловленных чрезвычайных ситуаций в России в связи со сменой характера циркуляции атмосферы // X научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций». М. : Центр Антистихий, 2010. С. 56–57.
17. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л. : Гидрометеоиздат, 1970. 252 с.
18. Афанасьев В.Н., Юзбаев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М. : Финансы и статистика, 2001. 228 с.
19. Задде Г.О., Кусков А.И. Разложение временных рядов на составляющие // Тезисы докладов Сибирского совещания по климатологическому мониторингу. 1995. С. 66–67.
20. Кендал М.Дж., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М. : Наука, 1976. 736 с.
21. Кусков А.И., Катаев С.Г. Закономерности современных изменений теплового поля в приземном слое атмосферы Сибири и на Дальнем Востоке // Известия вузов. Физика. 2004. № 11. С. 81–92.
22. Закусилов В.П., Закусилов П.В. Использование компонентного анализа для характеристики атмосферной циркуляции над заданным географическим районом // Вестник ВГУ. Сер. География. Геогэкология. 2009. № 2. С. 67–71.
23. Севастьянова Л.М., Севастьянов В.В. Фёны Горного Алтая. Томск : Изд-во ТПУ, 2000. 139 с.
24. Харламова Н.Ф. Климатические особенности плоскогорья Укок и прилегающих территорий // Известия АГУ. 2004. Вып. 33, № 3. С. 71–77.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 3 декабря 2013 г.

DOI: 10.17223/15617793/379/35

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

Zhuravlev Georgiy G. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: ggz50@sibmail.com

Kuskov Arkadiy I. Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS (Tomsk, Russian Federation). E-mail: arcus1309@rambler.ru

ESTIMATION OF MODERN CLIMATE TRENDS AND THEIR SYNCHRONICITY IN THE ALTAI REGION.

Key words: Altai region; climate trends; synchrony changes.

At present regional assessment of the climate change parameter is an urgent problem of research. The article provides an analysis of changes in the dynamics of temperature and precipitation on the current data from the stations of the Altai region. There is a change in the dynamics of temperature after 1998 from warming to cooling mainly due to colder winters and cooler summers. Stations in the north and north-east of the territory have the slowest reaction to the changes. The cooling trend proved to be the strongest at the stations of the Pre-Altai plain and Kosh-Agach. The change of trends is consistent with the change of circulation epochs. In the Altai region no explicit tendencies in the change of precipitation have been recorded. The spatial distribution of annual precipitation trends is often local. This is due to the extreme dependence of precipitation regime on the local conditions, especially on the orographic features of the area. In this paper an algorithm of integrated assessment of the spatial and temporal structure of territorial climate parameters is described, which is

based on the representation of a climatic rank as a set of components generated by various factors and their relations. Decomposition of climatic ranks into components allows evaluating the contribution of each constituent to the overall variability of the rank. At all the stations the greatest contribution to the overall variability of temperature is by annual variation (over 90%). The share of variability described by hidden periodicities is about 1.3% on average. It is much more than the trends influence, which for most stations does not exceed 0.3%. Rests and seasonal variation make the main contribution to the overall variability of sums of precipitation. The component formed by periodicities of various scale makes a significant contribution (on average about 10% in the territory). Thus, for modelling and prediction of the temperature and humidity regime of the territory, in addition to trends and annual variations, cyclical components of the time series must be taken into account. High interdependency of the long-term trend and seasonal component of temperature and precipitation at all stations with a typical distribution is identified. It shows that major changes *in* climatic parameters and seasonal variations in the region occur synchronously, being formed by the global processes. In order to optimise the presentation of the material and find homogeneous climatic changes in the Altai, the temperature and precipitation fields were classified. The temperature fields have 4 classes, with expressed geographical location, reflecting the common factors of their formation. Classification of precipitation fields in the region is largely determined by the lay of the land. The research reveals that changes in climatic characteristics of the region occur synchronously. Maximum synchrony of variability within the classes is observed.

REFERENCES

1. Kharlamova N.F. Sovremennye izmeneniya klimata vnutrikontinental'nykh rayonov Rossii // *Izvestiya AGU*. 2006. Vyp. 41, № 3. S. 47–52.
2. Kharlamova N.F. Dolgovremennye klimaticheskie izmeneniya na vnutrikontinental'noy territorii Rossii (Altayskiy region) // *Izvestiya AGU*. 2010. Vyp. 67, № 3–1. S. 133–140.
3. Kharlamova N.F. Opredelenie tendentsii regional'nykh izmeneniy klimata pri izuchenii ekonomicheskikh i sotsial'nykh aspektov razvitiya Bol'shogo Altaya // *Polzunovskiy al'manakh*. 2011. № 3. S. 134–137.
4. Sukhova M.G., Zhuravleva O.V., Tengereyeva T.A. Regional'nyy aspekt izmeneniya klimata (na primere Altaya) // *Vestnik molodykh uchennykh* : sb. nauch. rabot. Gorno-Altaysk : RIO GAGU, 2007. № 4. S. 25–30.
5. Sukhova M.G., Modina T.D. Sovremennye izmeneniya temperaturnogo rezhima vozdukh i rezhima uvlazhneniya na Altae kak proyavlenie regional'nogo izmeneniya klimata // *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2007. Vyp. 5, № 2. S. 14–18.
6. Sevast'yanov V.V. Klimat vysokogornyykh rayonov Altaya i Sayan. Tomsk : Izd-vo Tom. gos. un-ta, 1998. 201 s.
7. Sherstyukov B.G. Regional'nye i sezonnye zakonomernosti izmeneniy sovremennogo klimata. Obninsk : GU "VNIIGMI-MTsD", 2008. 247 s.
8. Barashkova N.K. Osobennosti potepeniya klimata v gornyykh rayonakh Sibiri // *Tezisy dokladov Tret'ego Sibirskogo soveshchaniya po klimato-ekologicheskomu monitoringu*. Tomsk, 1999. S. 8–9.
9. *Izmenenie klimata i ego vozdeystvie na ekosistemy, naselenie i khozyaystvo rossiyskoy chasti Altae-Sayanskogo ekoregiona: otsenochnyy doklad* / pod red. A.O. Kokorina. M. : WWF Rossii, 2011. 168 s.
10. Sevast'yanov V.V., Sevast'yanova L.M. Sovremennye izmeneniya klimata na yuge Sibiri // *Materialy Shestogo Sibirskogo soveshch. po klimato-ekologicheskomu monitoringu*. 14–16 sentyabrya 2005 g. Tomsk, 2005. S. 65–69.
11. Kuskov A.I., Kataev S.G. Struktura i dinamika prizemnogo temperaturnogo polya nad aziatskoy territoriyey Rossii. Tomsk : Izd-vo Tom. gos. ped. un-ta, 2006. 176 s.
12. *Izmenenie klimata. Ezheemesyachnyy informatsionnyy byulleten'* // *Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy* (Rosgidromet). 2010. № 4(13). URL: <http://meteorf.ru> (data obrashcheniya: dekabr' 2010 g.).
13. MGEIK, 2007: *Izmenenie klimata, 2007 g.*; *Obobshchayushchiy doklad. Vklad rabochikh grupp I, II, III v Chetvertyy doklad ob otsenke Mezhpriatel'svennoy gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata* / pod red. R.K. Pachuri, A. Rayzinger i dr. Zheneva : MGEIK, 2008. 104 s.
14. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2010 god*. M. : Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy (Rosgidromet), 2011. 66 s.
15. Kononova N.K. Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzhevskomu / pod. red. A.B. Shmakina. M. : Voentekhizdat, 2009. 372 s.
16. Kononova N.K. Tendentsii izmeneniya povtoryaemosti meteorologicheskimi obuslovlennyykh chrezvychaynykh situatsiy v Rossii v svyazi so smenoy kharaktera tsirkulyatsii atmosfery // *X nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Problemy prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy. Otsenka riskov vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy"*. M. : Tsentr Antistikhii, 2010. S. 56–57.
17. Lorents E.N. Priroda i teoriya obshchey tsirkulyatsii atmosfery. L. : Gidrometeoizdat, 1970. 252 s.
18. Afanas'ev V.N., Yuzbashev M.M. Analiz vremennykh ryadov i prognozirovaniye. M. : Finansy i statistika, 2001. 228 s.
19. Zadde G.O., Kuskov A.I. Razlozhenie vremennykh ryadov na sostavlyayushchie // *Tezisy dokladov Sibirskogo soveshchaniya po klimato-ekologicheskomu monitoringu*. 1995. S. 66–67.
20. Kendal M.Dzh., Styuart A. Mnogomernyy statisticheskiy analiz i vremennyye ryady. M. : Nauka, 1976. 736 s.
21. Kuskov A.I., Kataev S.G. Zakonomernosti sovremennykh izmeneniy teplovogo polya v prizemnom sloe atmosfery Sibiri i na Dal'nem Vostoke // *Izvestiya vuzov. Fizika*. 2004. № 11. S. 81–92.
22. Zakusilov V.P., Zakusilov P.V. Ispolzovanie komponentnogo analiza dlya kharakteristiki atmosfery nad zadannym geograficheskim rayonom // *Vestnik VGU. Ser. Geografiya. Geokologiya*. 2009. № 2. S. 67–71.
23. Sevast'yanova L.M., Sevast'yanov V.V. *Feny Gornogo Altaya*. Tomsk : Izd-vo TPU, 2000. 139 s.
24. Kharlamova N.F. Klimaticheskie osobennosti ploskogor'ya Ukok i prilagayushchikh territoriy // *Izvestiya AGU*. 2004. Vyp. 33, № 3. S. 71–77.